



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikakolledž

**Eero Tiisler**

### **3-teljeline arvprogrammjuhitav puidufreespink**

3-axis CNC wood-milling machine

Rakenduskõrgharidusõppe lõputöö  
Tehnotroonika õppekava

Juhendaja: lektor Janar Kalder, MSc

Tartu 2017

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Rakenduskõrghariduseõppe lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Eero Tiisler		Õppekava: Tehnotroonika	
Pealkiri: 3-teljeline arvprogrammjuhitav puidufreespink			
Lehekülgi: 106	Jooniseid: 21	Tabeleid: 6	Lisasid: 4
Osakond: Tartu Tehnikakolledž Uurimisvaldkond: Projekt Juhendaja: Janar Kalder, MSc Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, Eesti. 06.2017			
<p>Käesoleva lõputöö projekti raames projekteeriti ja ehitati valmis 3- teljeline CNC puidufreespink ergonoomiliste mõõtmete ja väikse massiga, mis lihtsustaks transporti ja ei võtaks palju ruumi, ent samas suudaks freesida Eestis enamlevinud puuliike ja vajadusel ka pehmemat plastikut ning metalli. Kriteeriumiks oli, et seadme lõpphind peab jääma alla 350 euro, et püsida konkurentsilt kõige kasulikuma võimalusena arvestades turuhindu. Raamkonstruktsiooni projekteerimisel valiti kahe materjali vahel: alumiinium (5083) ja niiskuskindel filmivineer FW. Põhjendatud kaalutlustel valiti niiskuskindel filmivineer FW. Töösõlmedes tehti vajalikud arvutused leidmaks sobivad mehaanika- ja elektroonikakomponendid.</p> <p>Enamus komponente telliti välismaalt (Hiina, Läti) sobivama hinna tõttu. Valiti välja sobiv elektroonika ja kasutajasõbralik juhttarkvara. Efektiivne tööala on (X,Y,Z) 220×330×112 mm ja telgede maksimaalne positsioneerimise kiirus on 4000 mm/min. CNC puidufreespink kaalub 8,7 kg. 3- teljelisel CNC puidufreespingil on avatud töölaud. Soovitav on kasutada maksimaalselt 5 kg kaaluvat toorikut või detaili. Telgede liigutamise täpsuseks on 0,04 mm, mida võib lugeda rahuldavaks tulemuseks, kuna samm-mootorite draiveritel on võimalik sammu täpsust veelgi suurendada. 3- teljelise CNC freespingi ehitusmaksumuseks kujunes 259,35 eurot sh juhtimissüsteemi korpus. Tulemusega võib rahule jääda, kuna etteantud hind jäi kavandatava eelarve piiresse.</p>			
Märksõnad: CNC, filmivineer, Mach3, juhtkontroller, samm-mootor			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Professional higher education thesis	
Author: Eero Tiisler		Specialty: Technotronics	
Title: 3-axis CNC wood-milling machine			
Pages: 106	Figures: 21	Tables: 6	Appendixes: 4
Department: Tartu Technical College			
Field of research: Project			
Supervisors: Janar Kalder, MSc			
Place and date: Tartu, Estonia. 06.2017			
<p>During this bachelor's thesis the 3-axis CNC wood-milling machine was built. The machine's size and mass are ergonomic, which would simplified the transport and placement of the machine, it would be able to mill the most known trees in Estonia, also softer plastic and metal. The criteria was that the machine's final price must be less than 350 euros, which would make it the most competitive on the market. While designing the frame there were two options – either to build it with aluminium (5083) or damp-proof plywood film FW. The latter plywood was chosen because of argumented considerations. Appropriate bending load calculations in working points were made for finding a suitable components. Most of the components were imported from foreign countries (China, Latvia) because of the price advantage. A suitable electronics and user-friendly control software were chosen. CNC wood-milling machine weighs total of 8,7 kilograms. Effective work area is 220x330x112 mm (X,Y,Z) and the speed of the maximum positioning is 4000 mm/min. The 3-axis CNC wood-milling machine has open bench (desktop) which means that it can also work with longer details. It is recommended to use blanks with a maximum weigth of 5 kg. Working points accuracy is 0,04 mm, that can be considered as a satisfactory result, because it is possible to regulate micro-steps in different degrees and this helps to lift the precision even more.</p> <p>Manufacturing cost for the the 3-axis CNC wood-milling machine was in total 259,35 euros. This includes and that also contains the price for control corpus. The result is satisfactory because the price remained within the proposed budget.</p>			
Keywords: CNC, film faced plywood, Mach3, stepper-motor, breakout board			

# SISUKORD

LÜHENDID JA TÄHISED .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. TÖÖ EESMÄRK.....	8
2. ARVPROGRAMMJUHTIMISEGA FREESPINGI ÜLEVAADE .....	9
2.1. Ajalugu.....	9
2.2. Tööpõhimõte.....	10
2.3. Sarnased tooted .....	13
3. CNC PUIDUFREESPINGI PROJEKTEERIMINE.....	17
3.1 Metoodika .....	17
4. MEHAANIKA .....	18
4.1. Materjali valik.....	18
4.2. Konstruktsioon.....	20
4.3. Töösõlmed .....	22
4.3.1. X- telje töösõlm .....	23
4.3.2. Y- telje töösõlm .....	27
4.3.3. Z- telje töösõlm.....	29
5. ELEKTROONIKA.....	31
5.1. Mootorite valik .....	31
5.2. Juhtelektroonika 1 .....	33
5.2.1. Kontroller 1 .....	33
5.2.2. Samm-mootori draiver.....	34
5.3. Juhtelektroonika 2.....	35
5.3.1 Kontroller 2 .....	35
5.4. Lisakomponendid.....	36
5.4.1. Toiteplokk.....	36
5.4.2 Piirlülitid.....	36
5.4.2. Frees .....	37
6. Tarkvara .....	38
6.1. Mach3 .....	38
6.2. Grbl.....	39
7. Tulemused .....	40
7.1. Juhtelektroonika valik.....	40
7.2. Ressursikulu.....	42

7.2.1. Komponentide maksumus ja võrdlus .....	42
7.3. Projekteerimine ja ehitamine .....	44
KOKKUVÕTE .....	46
KASUTATUD KIRJANDUS .....	47
SUMMARY .....	52
LISAD .....	53
Lisa A. Elektriskeem .....	54
Lisa B. Juhtimissüsteemi korpuse tehnilised joonised .....	56
Lisa C. 3-teljelise CNC puidufreespingi tehnilised joonised .....	65
Lisa D. Lihtlitsents .....	105

## LÜHENDID JA TÄHISED

**CAD** – arvuti toel toote kujundamine (joonestamine, konstrueerimine); vastav tarkvarapakett (engl. Computer Aided Design)

**CAM** – arvuti toel valmistamine; arvjuhtimisseadmete juhtprogrammide ettevalmistamisel orienteeritud vastav tarkvarapakett (engl. Computer Aided Manufacturing)

**CNC** – arvprogrammjuhtimine (engl. Computerized Numerical Control)

## SISSEJUHATUS

Eestis on hobikorras puidutööga tegelevate inimeste hulk üsna suur, kuid ka harrastajad vajavad selleks vastavaid seadmeid ja töökeskkonda jne. Seepärast puutuvad just nemad tihti kokku järgmiste probleemidega: ruumipuudus, seadmete suurus ja kallidus ning kättesaadavus. Internetis on suur valik CNC puidufreespingi ehitamiseks vajalikke komponente, kuid valmis seadmete valik on üsna piiritletud - keeruline on leida vastavate mõõtmetega ja muude näitajate poolest just parasjagu sobivat seadet, samuti on need üsna kallid. Seepärast otsustavad paljud harrastajad CNC puidufreespink ise valmis ehitada, sealjuures väiksema eelarvega ja saades ka ise hulgaliselt uusi kogemusi ning teadmisi mehaanika ja elektroonika vallast.

Antud töö uuribki, millised komponendid on CNC puidufreespingi ehitamiseks saadaval, milline on ajakulu ning kui kulukaks protsess osutub. CNC puidufreespink valmib täielikult, tööle on lisatud joonised ja küllaltki palju saab infot vajaminevate komponentide hindade, nende tellimise ja sobivuse kohta.

Käesoleva tööga püüab autor näidata, et vajalikud vahendid hankides ja tutvudes vastava tarkvaraga on harrastajal võimalik ise ehitada valmis CNC puidufreespink, mis on soovitud mõõtmetega ja lõikab enamlevinud puiduliike ning pehmemat plasti ja metalli.

# 1. TÖÖ EESMÄRK

Käesoleva lõputöö projekti raames on eesmärgiks projekteerida ja valmis ehitada võimalikult madala hinnaklassiga 3- teljeline arvprogrammjuhitav puidufreespink, mis suudab freesida Eestis enamlevinud puuliike ja vajadusel ka pehmemat plastikut ning metalli. Raamkonstruktsioon tuleb projekteerida piisavalt lihtsa ja töökindlana ning valida õiged materjalid. Esmakordsel ehitamisel tuleb arvestada asjaoluga, et võib esineda praakdetalle, mis võivad lõppkokkuvõttes kogu ehitusprotsessi üsnagi kulukaks viia.

Lisaks on detailide valmistamisel oluline omahind. Autori arvates on kriteeriumiks arvprogrammjuhitava puidufreespingi ergonoomilised mõõtmed ja seadme enda kaal, mis lihtsustaks transporti ja ei võtaks palju ruumi. Samuti tuleb välja valida kasutajasõbralik juhttarkvara, mis ühilduks väljavalitud juhtelektroonikaga. Et seadme isevalmistamise lõpphind püsiks konkurentsitult kõige kasulikum võimalusena arvestades turuhindu, peab seadme valmimise hind jääma alla 350 euro. Seega projekteerimisel peab arvestama:

Projekti tööülesanded:

- 1) Projekteeritakse seade koos samm-mootoriga üldmõõtmega (pikkus, laius kõrgus) 515×530×420 mm. Arvestades freespingi mõõte ja selle otstarvet, ei tohiks freesitava materjali omakaal ületada viite kilogrammi. Efektiivne tööala on (X,Y,Z) 220×330×112 mm.
- 2) Valitakse raamkonstruktsiooni ehitamiseks odavaim ja kvaliteedilt sobivaim materjal.
- 3) Valitakse välja mehaanilised ja elektroonilised komponendid kvaliteedi ja hinna järgi.
- 4) Ehitatakse valmis raamkonstruktsioon ja monteeritakse külge mehaanilised ja elektroonilised komponendid.
- 5) Tehakse katseid kahe erineva kontrolleriiga leidmaks parem hinna ja kvaliteedi suhte poolest.



## **2. ARVPROGRAMMJUHTIMISEGA FREESPINGI ÜLEVAADE**

### **2.1. Ajalugu**

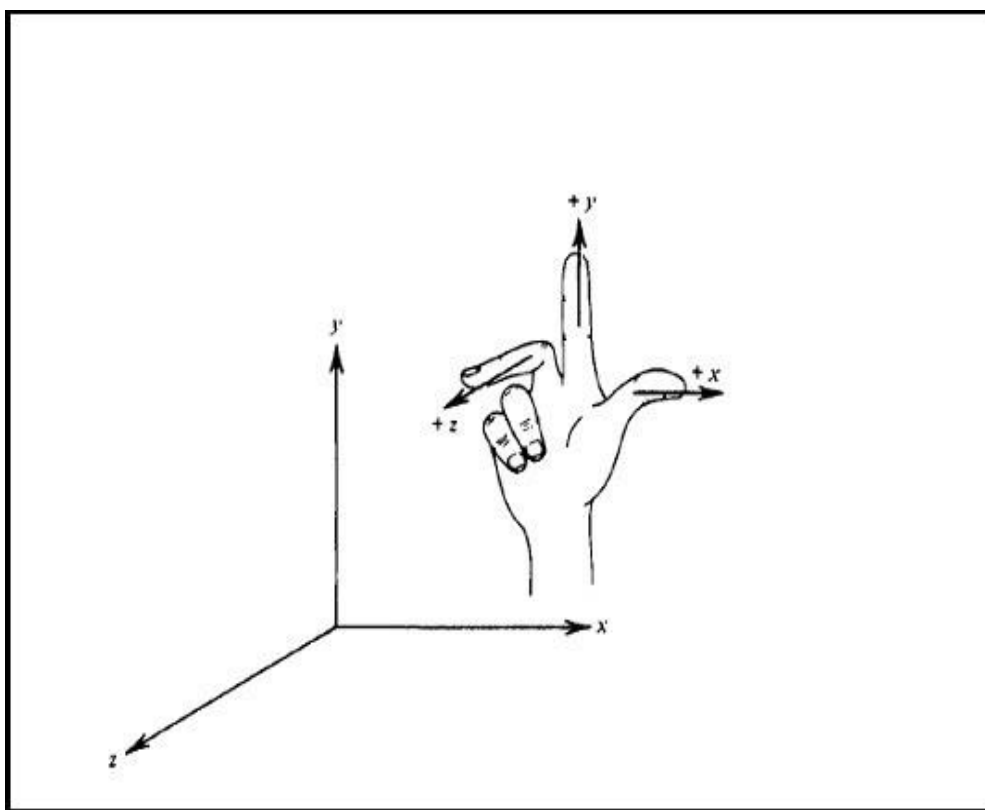
Praegusel ajal on praktiliselt igas töötavas masinatööstusettevõttes kasutusel arvprogrammjuhtimisega ehk APJ tööpinke, mis võimaldavad ka keerukamaid detaile valmistada väga kiiresti, tagades samal ajal töö kvaliteedi ja täpsuse [1].

Tööpinkide automatiseerimine 19. sajandi lõpus tõi tohutu tööstusarengu, parandades ettevõtte toodangu kvaliteeti ja suurendades tootlikkust, mis tegi ettevõtte konkurentsivõimelisemaks. Automatiseeritud tööpinkide juures on arusaadavalt inimefaktor tunduvalt väiksem kui automatiseerimata pinkide puhul. Nüüdisaja pingitööline vahetab ja mõõdab toorikuid ja kulunuid terasid, tehnoloog tegeleb juhtprogrammide koodikirjutamisega ja vajadusel ka muutmisega [1].

Esimesed automatiseeritud arvjuhtimisega freestööpingid võeti kasutusse 1950- ndatel, esimesed valmistatavad detailid läksid lennukitööstusele. Tööpinkidel puudus mälu ja nad vajasisid suuremahulisi matemaatilisi ettevalmistusi. Veidi hiljem, 1960 – 1970 ndatel aastatel arendati eriotstarbelisi arvjuhtimisega pinke. Esimeste CNC pinkidega tuldi välja 1970 – 1980 ndatel aastatel - nendel oli juba automatiseeritud lõikeriistade vahetus ning programmide salvestamiseks sai kasutada sisemist mälu. Raalintegreeritud tootmisele pandi alus 1980 – 1990- ndatel aastatel, CNC pinkide suureks eeliseks oli võimalus need ühendada kohalikku võrku. Alates 90- ndatest sai arvjuhtivate tööpinkide juhtprogrammide ettevalmistamisel standardiks CAD/CAM [1].

## 2.2. Tööpõhimõte

CNC ehk arvprogrammjuhitav freespink on seadeldis, mis koosneb mitmetest tähtsatest komponentidest – need võib jagada kolmeks: mehhaaniline, elektrooniline ja tarkvaraline. Eeltoodud kolme osa koostöö tulemusel valmivad kõrge täpsusklassiga keerukad detailid. CNC juhtprogramm töötab koordinaatsüsteemis ( X, Y, Z ) ehk ristkoordinaadistikus kolme erineva telje suhtes (joonis 1), koordinaatteljestiku saab paika panna ka parema käe reeglistiku järgi [2].



**Joonis 1.** Koordinaatsüsteem [4]

CAD/CAM- is koostatakse arvjuhtimisega pinkidele G-koodis juhtprogramme ja projekteeritakse jooniseid. Programmeerimiskeelena kasutatakse G-koodi pea kõikides CNC freespinkides. G-koodi juhtprogrammi sisu koosneb lausetest, laused sõnadest ja sõnad koosnevad adressaadist ja arvsõnast. G-koodi sisu näitab, mis tüüpi toiminguid või käsklusi parasjagu tehakse ja vastavalt millisele ettevalmistatud funktsioonile juhtprogramm CNC freespinkki juhib [3]. Vastavaid etteantuid funktsioone võib näha tabelis, mida kasutatakse G-koodi puhul (tabel 1).

**Tabel 1.** Juhtprogrammi ettevalmistatavad funktsioonid [5]

<b>Funktsioon</b>	<b>Töö kirjeldus</b>
G00	Kiire positsioneerimine
G01	Lineaarne interpolatsioon
G02	Ringliikumine päripäeva
G03	Ringliikumine vastupäeva
G04	Teeb pausi
G09	Täpne seismajäämine
G17	XY tasapinnaline valik
G18	ZX tasapinnaline valik
G19	YZ tasapinnaline valik
G33	Keermelõikus
G40	Lõikeriista korrektsiooni tühistamine
G41	Lõikeriista korrektsioon vasakule
G42	Lõikeriista korrektsioon paremale
G53	Nihutuse tühistamine
G54 - G59	Nihutus 1 kuni 6
G74	Lähenemine lähtepunkti
G80	Standardtsükli tühistamine
G81 - G89	Standardtsükkel 1 kuni 9
G90	Absoluutne koordinaatsüsteem
G91	Suhteline koordinaatsüsteem
G94	Pöörlemissagedusel ettenihe, mm/min
G95	Ettenihe pöördele, mm/p
G96	Püsiv lõikekiirus
G97	Spindli pöörlemissagedus, p/mm

Lisaks kasutab G-kood ka abistavaid universaalseid lisafunktsioone ehk M-funktsioone. Sisestades juhtprogrammi M-funktsiooni, antakse käsklus edasi pingi ajamitele, mis lihtsustavad oluliselt pingioperaatori tööd. Abifunktsioonid kehtivad ühes lauses ja võivad mitu funktsioonikäsklust korraga esile kutsuda, kui need üksteise tööd ei sega. M-Funktsioone võib näha tabelist (tabel 2) [1].

**Tabel 2.** Juhtprogrammi M-lisafunktsioonid [5]

<b>Funktsioon</b>	<b>Töö kirjeldus</b>
M00	Programmi paus
M02	Lõpetab programmi
M03	Spindli pöörlemine, päripäeva
M04	Spindli pöörlemine, vastupäeva
M05	Spindli pöörlemise seiskamine
M06	Automaatse lõikeriista vahetus
M07	Lülitab sisse jahutuse määrdevedeliku
M09	Lülitab välja jahutuse määrdevedeliku
M30	Lõpetab programmi töö

Kasutades arvuti poolt juhitud tarkvara, on võimalik kontrollida või juhtida CNC ehk arvprogrammjuhitavate tööpinkide töötsükleid G-koodi alusel.

Programmeerija kirjutab G-koodis juhtprogrammi valmis. Arvutis olev juhtprogramm töötleb G-koodi ja saadab elektrilise impulsssignaali riistvaraseadmele ehk kontrolleriile. Selleks, et töölauda teljestikku ja lõiketööriista liigutada, on vaja arvuti juhtprogrammi ja kontrolleri omavahelist suhtlust. Omavaheliseks suhtluseks kasutatakse enim standardset RS232 jadaliidest, kuid tänapäeval on hakatud kasutama ka USB või Etherneti liideseid, kuna kaasaegsematel arvutitel lihtsalt puudub paralleelpordi kasutusvõimalus [6].

Kasutades jadaliidest RS232 omavaheliseks suhtluseks, saadab juhttarkvara signaali kontrolleriile, mis omakorda saadab elektrilise signaali draiveritele, sealt saavad omakorda mootorid elektrilisi impulss-signaale. Servo- või samm-mootori poolt juhitud ülekande kaudu saab liigutada töölauda või telgi [7].

Tagasisidestatud servomootori puhul on eeliseks täpne positsioneerimine - ehk mootor annab tagasisidet enda mehhanismide liikumisest enkoodri abiga, mis saadab signaalid kontrolleriisse ja reguleerib vastavalt mootori töökiirust (voolu, asendit, kiirust). Taoline töötsükkel on korduv, mis tagab ka täpsuse [7].

## 2.3. Sarnased tooted

CNC freespinke on saadaval erinevate mõõtude ja kaaluga, 3- ja 4-teljelisi. Eestis on puidutöötlemisega hobikorras tegelevate inimeste jaoks CNC freespingi ostmisel takistuseks selle hind. Eestis pakuvad CNC freespinkide müügiga tegelevad firmad, neid mitmete tuhandete eurode eest – kuigi samas valikut mõõtude jm osas justkui on. Tööstuslike CNC freespinkide hinnaklass ulatub kümnetesse tuhandetesse eurodesse.

Harrastajatele, kes kodus töötavad, on oluline ka freespingi paigutus ruumis, seega kindlasti on kriteeriumiks freespingi ergonoomilised mõõtmed. Alternatiiviks on tellida ise välismaalt CNC freespink või siiski see valmis ehitada ja omandada seeläbi palju kogemusi.

Eestis tegutsev ettevõtte ECCOM OÜ on asutatud 2005. aastal. Ettevõtte tegeleb CNC freespinkide edasimüügiga ja hooldusega, lisaks pakutakse arvjuhitavatele seadmetele erinevaid terviklahendusi CAD/CAM-i tarkvara osas ja vajalikke lõikeinstrumente freespink-masinatele [8]. Ettevõtte tootesarjast leiab ka väiksema CNC freespingi just puidutööga hobikorras tegelevale inimesele, arvestatud on freespingi optimaalseid tööala mõõtmeid ja seadme omakaalu - mudeliks on HIGH-Z S-400 (joonis 2).



**Joonis 2.** 3-teljeline CNC freespink HIGH-Z S-400 [9]

Lisaks on samas tootesarjas saadaval suurema efektiivse tööala ja suurema omakaaluga freespink, mille raamkonstruktsiooniks on alumiiniumprofiil, mis tagab raami jäikuse ja

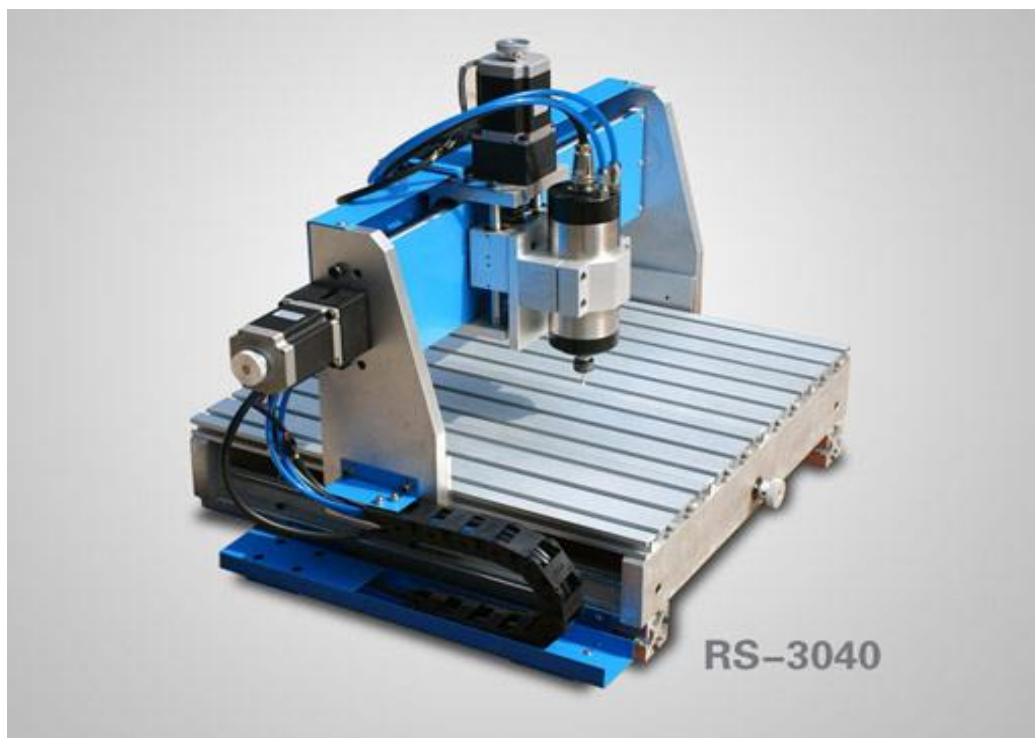
sealjuures siiski jätab seadme omakaalu selle võrra väiksemaks. Tooteks on HIGH-Z S-700 (joonis 3),



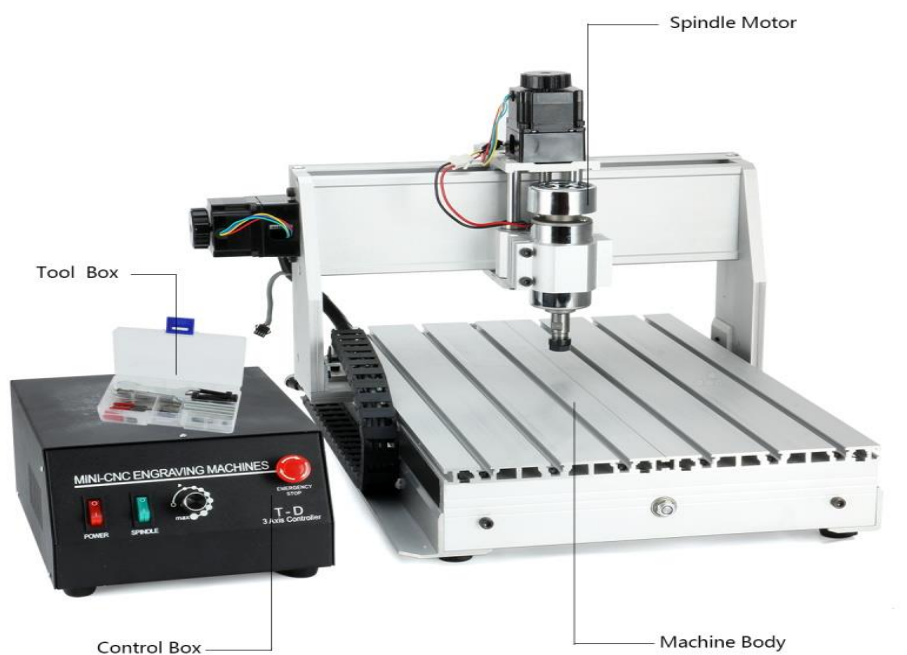
**Joonis 3.** 3-teljeline CNC freespink HIGH-Z S-700 [9]

Eesti tegelevad CNC freespinkide maaletoomisega paraku üksikud firmad. Eesti enamlevinumates müügiportaalides lehitsedes leidub siiski ka vähesel määral neid inimesi, kes hobikorras valmistavad ise CNC freespinke. Nende töölaua mõõtkava on põhiliselt 1200×2300mm, muudelt andmetelt on võrdväärised maaletoodavate CNC freespinkidega, hinnaks on 2200 eurot [10].

Alternatiivina on võimalik CNC freespink ise Hiinast tellida. Seal pakutavate toodete valik on võrdlemisi suur, hinnaklass tunduvalt soodsam kui Euroopast ostes ja ka omaduste poolest edukalt Euroopa toodetega võrreldes igati konkurentsivõimelised. Kui võrrelda CNC freespingi parameetreid, siis Hiina turult võib saada kordades soodsama toote. Aliexpressist saadaolev toode Redsail RS 3040 on hobikorras töötavale inimesele täiesti sobilik (joonis 4) [11]. Samuti alla ei jää ka ebay-st leitud toode TwoWin CNC 3040 (joonis 5) [12].



**Joonis 4.** 3-teljeline CNC freespink Redsail RS 3040 [12]



**Joonis 5.** 3-teljeline CNC freespink TwoWin CNC 3040 [11]

Tabelis on välja toodud erinevate lõputöös kajastatavate CNC freespinkide toodete spetsifikatsioon (tabel 2).

**Tabel 2.** CNC freespinkide spetsifikatsioon [11,12,14]

Mudel	HIGH-Z S-400	HIGH-Z S-400	Redsail RS 3040	TwoWin CNC 3040
Päritoluriik	Saksamaa	Saksamaa	Hiina	Hiina
Efektiivne tööala: X	400 mm	720 mm	385 mm	390 mm
Efektiivne tööala: Y	300 mm	420 mm	315 mm	280 mm
Efektiivne tööala: Z	110 mm	110 mm	55 mm	55 mm
Töölaua mõõdud	730 mm × 510 mm	1050 mm × 510 mm	300 mm × 400 mm	525 mm × 320 mm
Positsioneerimistäpsus	0,03 mm	0,03 mm	0,05 mm	0,05 mm
Maksimaalne positsioneerimiskiirus	4000 mm/min	4000 mm/min	4000 mm/min	4000 mm/min
Maksimaalne töökiirus	3000 mm/min	3000 mm/min	3000 mm/min	3000 mm/min
Kaal	31 kg	41 kg	48 kg	26 kg
Hind eurodes	2237	2793	1572	464,10

Tabelist selgub, et hinnavahe on märgatav Saksamaa ja Hiina poolt pakutavate toodete vahel. Tabelis välja toodud hinnad on vastavalt päritoluriigile, hinnale lisanduvad transpordikulud ja muud siseriiklikud maksud (tollimaks, käibemaks), v.a mudeli RedsailRS 3040 puhul, kus on saatmiskulusid juba hinna sees. Mudelite HIGH-Z S-400 ja HIGH-Z S-700 puhul Eesti edasimüüja ECCOM OÜ kodulehel hindasid ei kajastu ja hinnapäringutele vastuseid polnud võimalik saada. Seega võib ainult oletada, et hinnad Eestis on kõrgemad kui Saksamaal pakutavate CNC freespinkidega, kuna hinnale lisanduvad saatmiskulud ja muud siseriiklikud maksud. Kui võrrelda mudelite maksimaalset positsioneerimis- ja töökiirust, siis need andmed on samad, va Saksamaa mudelite positsioneerimistäpsus, mis on parem. Harrastajale ei ole täpsusklassi selline erinevus määrav võrreldes Hiina poolt pakutavate mudelitega. Miinusena võib välja tuua pika tellimisperioodi ja fakti, et enamus Hiinast saadetud seadmeid saabuvad lahtimonteerituna - ehk CNC freespink tuleb ise kokku panna. Samuti võib juhtuda, et mõni detail on pakist puudu või defektne, ent siin tuleb sellega arvestada, kuna hind on juba piisavalt soodne.



### 3. CNC PUIDUFREESPINGI PROJEKTEERIMINE

#### 3.1 Metoodika

Lõputöö autori poolt projekteeritakse ja ehitatakse valmis 3-teljeline CNC puidufreespink. Projekteerimise käigus valitakse välja raamkonstruktsiooni materjal, lähtudes materjali kvaliteedist ja hinnaklassist. Valiku tegemisel arvestati ka materjali tugevust ja kaalu. Materjaliks valiti veekindel filmivineer, mis on suure tihedusega ent väikse kaaluga ja niiskuskindel.

**Enne** projekteerimist joonestati käsitsi eskiis, kus pandi paika visioon raamkonstruktsioonist ja mõõtkavast. Mõõtkava valimisel lähtuti vastavates mõõtmetes materjalide saadavusest. Joonestamise käigus kasutati projekteerimistarkvara Solid Edge ST8 [15]. Välja valiti mehaanikalised ja elektroonilised komponendid ning telliti Hiinast kõik vajaminev. Valmis projekteeriti raam konstruktsioon ja erinevate telgede sõlmed, et jooniste abil oleks võimalik detailid välja lõigata. Samuti modelleeriti valmisjoonestatud detailidest kokku 3D mudel, mis annab tervikpildi projekteeritud CNC freespingist ja aitab vältida töö käigus tekkivaid kitsaskohti. Seade koos samm-mootoritega projekteeriti üldmõõtmetega (pikkus, laius kõrgus) 515×530×430 mm.

**Jooniste** järgi lõigati niiskuskindlast filmivineerist käsitsi välja iga detail, sealjuures arvestati ka materjalikuluga, et materjali kasutus oleks võimalikult ökonoomne. Töövahenditeks olid akutrell, ketassaag, ketaslõikur, tikksaag, nihik, mõõdulint, puupuurid ja märkevahend. Väljalõigatud detailidest pandi kokku raamkonstruktsioon. Raamkonstruktsioonile monteeriti külge mehaanilised komponendid, veerelaagrid, lineaarvarda toed; trapetslatid ja lineaarvardad lõigati vastavatele mõõtudele. Lineaarlaagri pukid kinnitatakse töölaudade külge ja monteeritakse vastavalt telje sõlmele. Samm-mootorid pannakse mootoriplaatidele paika, ühendatakse samm-mootorid ja trapetslatid omavahel muhvsiduri abil. Telgede sõlmedesse paigaldatakse piirlülitid, millega pannakse paika mehaanilise liikumise trajektoor. Juhtimissüsteemi korpusesse paigaldatakse elektroonika: toiteplokk, kontrolleri ja samm-mootorite draiverid. Katseid tehakse kahe erineva kontrolleriiga leidmaks hinna ja kvaliteedi suhtelt parim.

## 4. MEHAANIKA

### 4.1. Materjali valik

Konstruksiooni ehitamisel on ülimalt oluline materjali valik, kuna see on kogu ehitise alustalaks. Materjali valiku puhul tuleb lähtuda materjali tihedusest, mis määrab nii konstruktsiooni kaalu kui ka tugevuse. Koheselt tuli välistada teras, mille tugevusnäitajad on küll head, kuid kõrge tiheduse tõttu  $7850 \text{ kg/m}^3$  oleks raamkonstruktsioon liiga raske. [5:117]. Valmiva seadme mass peab jääma võimalikult väikseks. Seega valitakse kahe materjali vahel: alumiiniumi  $\text{Mg4.5Mn0.7}$  (5083) ja niiskuskindel filmivineer FW.

Niiskuskindel kasevineer on kaetud fenool- ehk filmikihiga, tähistatuna FW, omadusteks on eelkõige kõrged tugevusnäitajad ja väike mass. Võrreldes alumiiniumiga on FW mass 4 korda väiksem [16]. Alumiiniumi kasutatakse väga laialdaselt ehituses konstruktsioonmaterjalina, mööblitootmises viimistlusmaterjalina ja paljudes muudes kohtades. Niiskuskindla filmivineeri nii pealmine kui alumine pool on kaetud tumepruuni fenoolkihiga; üks pool on sile, tagades libisemise ja lihtsa puhastamise ning teine pool on karestatud ehk võrgulise pinnaga, mis annab parema nakkuvuse [18].

Alumiiniumi sulamid on tänapäeval enimkasutatavad metallid, olles kolm korda kergemad kui teras, samas ka tugevad ja sobiksid väga hästi raamkonstruktsiooni ehitamiseks, tagades sellele jäikuse ja väikse massi. Alumiinum on ilmastiku- ja korrosioonikindel, hea elektri- ja soojusjuhtivusega ning võrreldes terasega mehaaniliselt lihtsasti töödeldav. Konstruktsiooni ehitamisel kasutatakse alumiiniumi sulamist profiile, millede liitekohad keevitatakse kokku MIG või TIG-i keevitusega, samuti kasutatakse kronstein nurkühendusi ja vajadusel keermestatakse ning kinnitatakse poltidega [17]. Tabelist on võimalik võrrelda materjalide mehaanilisi omadusi. (tabel 3)

**Tabel 3.** Filmivineeri FW ja alumiiniumi (5083) materjalide mehaanilised omadused [5:46,116,190;18,19,20]

Materjal	Tihedus kg/m <sup>3</sup>	Tõmbetugevus N/mm <sup>2</sup>	Elastsumoodul kN/mm <sup>2</sup>	Soojusjuhtivus W/m*K	Materjali Hind euro/m <sup>2</sup>
Niiskuskindel filmivineer FW	672-800	40	6,1	0,13	8,7
Alumiinium (5083)	2700	280	60	204	161,3

Niiskuskindla filmivineeri FW kasutamisel on eeliseks väiksem tihedus, mis teeb raamkonstruktsiooni kergemaks, samas ei jää see oluliselt alumiiniumi tihedusele alla. Alumiiniumi eeliseks on elastsusmooduli näitaja, mis iseloomustab materjali jäikust mitte deformeeruda välise jõu mõjul, säilitades oma esialgse kuju pärast koormuse eemaldamist [21]. Filmivineeri eeliseks on halb soojusjuhtivus, arvestades samm-mootorite tehtava töö ajal tekkiva soojuse eraldumist, mis filmivineeri puhul edasi raamkonstruktsiooni ei kandu ja soojuspaisumist seega materjalis ei toimu. Materjalide hinnasuhe on pea kahekümnekordne, see tõstaks oluliselt alumiiniumist raamkonstruktsiooni hinda. Materjali valiku puhul peab arvesse võtma, mil viisil mingit materjali töödeldakse: olenevalt alumiiniumi profiilist kasutatakse raami liite puhul keevitamist, mida teeks vastava eriala spetsialist vastava tasu eest. Samuti kasutatakse kronstein nurkühendusi ja keermestatakse ning kinnitatakse poltidega.

Niiskuskindla filmivineeri FW puhul on võimalik jooniste alusel lasta detailid välja lõigata, kuid on võimalik seda ise teha olemasolevate jooniste alusel, ja siis detailid kruvidega kinnitada. Materjali valiku puhul lähtutakse veel CNC freespingi mõõtmetest ja sihtgrupist, kellele pink on mõeldud. Kuna antud 3- teljeline puidufreespink projekteeritakse hobikorras puidutööd harrastavale inimesele, on esikohal seadme ergonoomilised näitajad sh mass ja siit lähtuvalt kasutajamugavus. Ehitatava puidufreespingi konstruktsioonimaterjal peab olema hobiehitaja kodustes tingimustes ise kergesti töödeldav ja piisavalt taskukohane, et eelistada iseetegemist valmistootele. Võttes veel arvesse võimalikku praaki ja ülejääke materjali lõikamisel, on igati kasulikum valida CNC freespingi materjaliks niiskuskindel filmivineer FW.

## 4.2. Konstruksioon

Raamkonstruktsiooni ehitamisel kasutatakse materjaliks niiskuskindlat filmivineeri FW [22]. Raamkonstruktsioonis kasutatav materjal on hea tihedusnäitajaga ja hästi töödeldav käepäraste vahenditega, mis nõuab vaid ehitajalt endalt täpset märkimist ja väljalõikamist. Raamkonstruktsiooni projekteerimise käigus valiti kahe töölaua liikumise variandi vahel: alusraami peal liikuv raamistik ehk portaal-tüüpi freespink (joonis 4) ja liikuva töölauaga freespink (joonis 7). Arvestades tööala suurust ja kulutusi sellele, siis valiti liikuva töölauaga freespink.

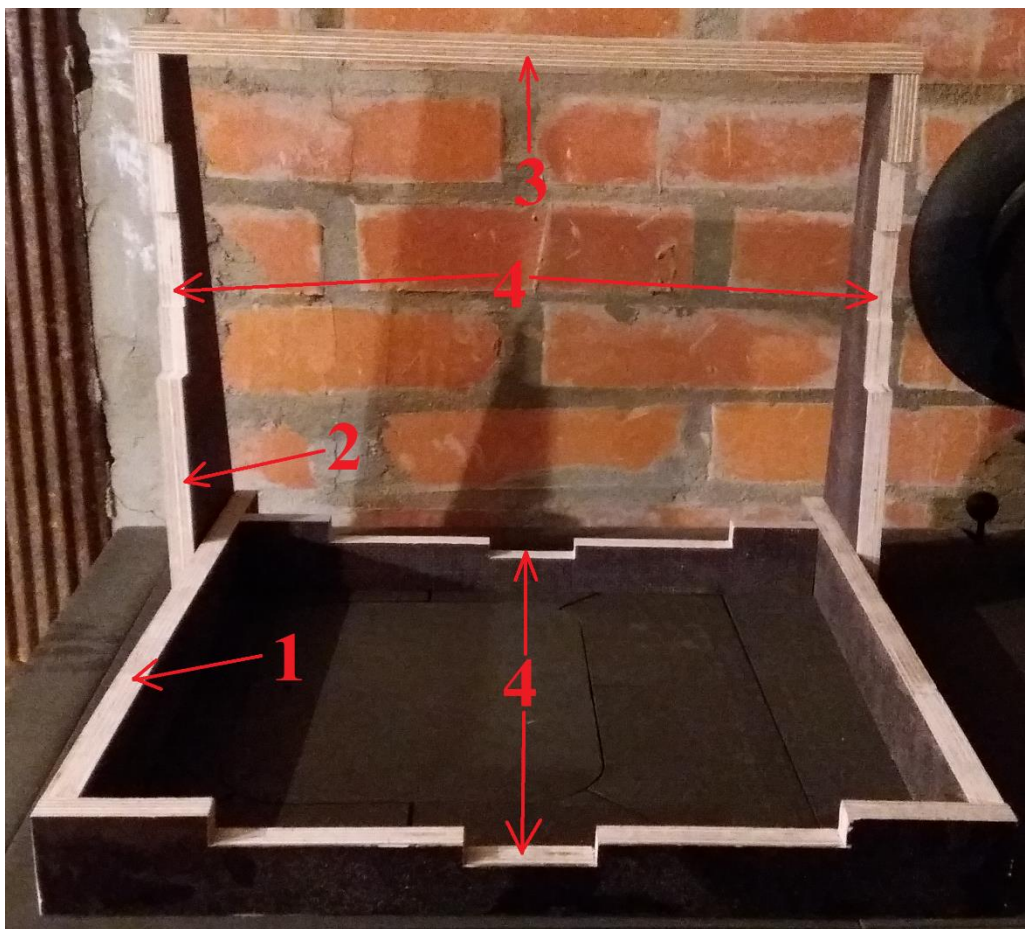
CNC puidufreespingi valmimisjärgus raamkonstruktsiooni leiab jooniselt 6. Raamkonstruktsiooni materjaliks valiti 15mm niiskuskindel filmivineeri plaat, mis tagab raamistikule piisava jäikuse. Detailid on võimalik lasta jooniste alusel CNC freespingil välja lõigata, kuid lõputöö eesmärgiks oli kõikvõimalikud tööd ise teha, et lõpphind kujuneks võimalikult väikseks, ent samas valmis ehitada kvaliteetne ja töökindel CNC freespink. Solid Edge ST8- s joonestatud jooniste abil märgiti detailide mõõdud vineerplaadile ja lõigati välja. Enne kruvimist puuritakse 1mm läbimõõduga puupuuriga avad ette ja need faasitakse, et kruvide sissekeeramine viimistluspinda ei rikuks. Kui avasid detailidesse mitte ette puurida, võivad detailid lõheneda. Võimalike praakdetailide tekkimisega on küll arvestatud, uute valmistamine ei ole kulukas arvestades materjali omahinda, kuid sellega kaasneks liigne ajakulu.

Raamkonstruktsiooni alusraami detailid ja pealmine tala kinnitatakse peitepea puidukruvidega (ISO 14592) 4,5×55 mm, detailide liitekohtade kinnitamiseks kasutatakse kruve, kuna CNC freespink on projekteeritud ergonoomilistele mõõtudele, saavutamaks sellise kompaktsuse, et detaile pole tarvis lahti võtta. Siiski, vajadusel on võimalik detailid lahti võtta/välja vahetada. Selle tagab niiskuskindla filmivineeri materjalistruktuur, mis säilitab mitmekordsel lahtivõtmisel jäiga ja püsiva liite.

Raamkonstruktsiooni küljeplaatidele ja alusraami taladesse lõigati sisse laagripuki ja lineaarvarda toe pesad mehaaniliste lahenduste tõttu (joonis 6): lineaarvarda toe kõrguse tõttu tuli alusraami esiosa ja tagumise osa taladesse süvendada lineaarvarda toe ja laagripuki

pesad, mis ei tõstaks töölaua kõrgust ja parem on ühendada piirlülid, mis piiraksid töölaua mehaanilist liikumist kindlas liikumissuuna teljes ning ka visuaalselt näeks CNC preespink parem välja.

Küljeplaatidesse puuriti 5 mm läbimõõduga puupuuriga avad ja kinnitati mööblipoltide (DIN 603) M6×50, seibide (DIN 9021) 06/18/1,6 ja muttritega (DIN 934) M6 alusraami külge. Vasakpoolse küljeplaadi ja tagumise alusraami talasse puuriti 1mm läbimõõduga puupuuriga avad ette kohtadesse, kuhu kinnitatakse samm-mootorite plaadi puksid, millede külge kinnitatakse mootori plaat.

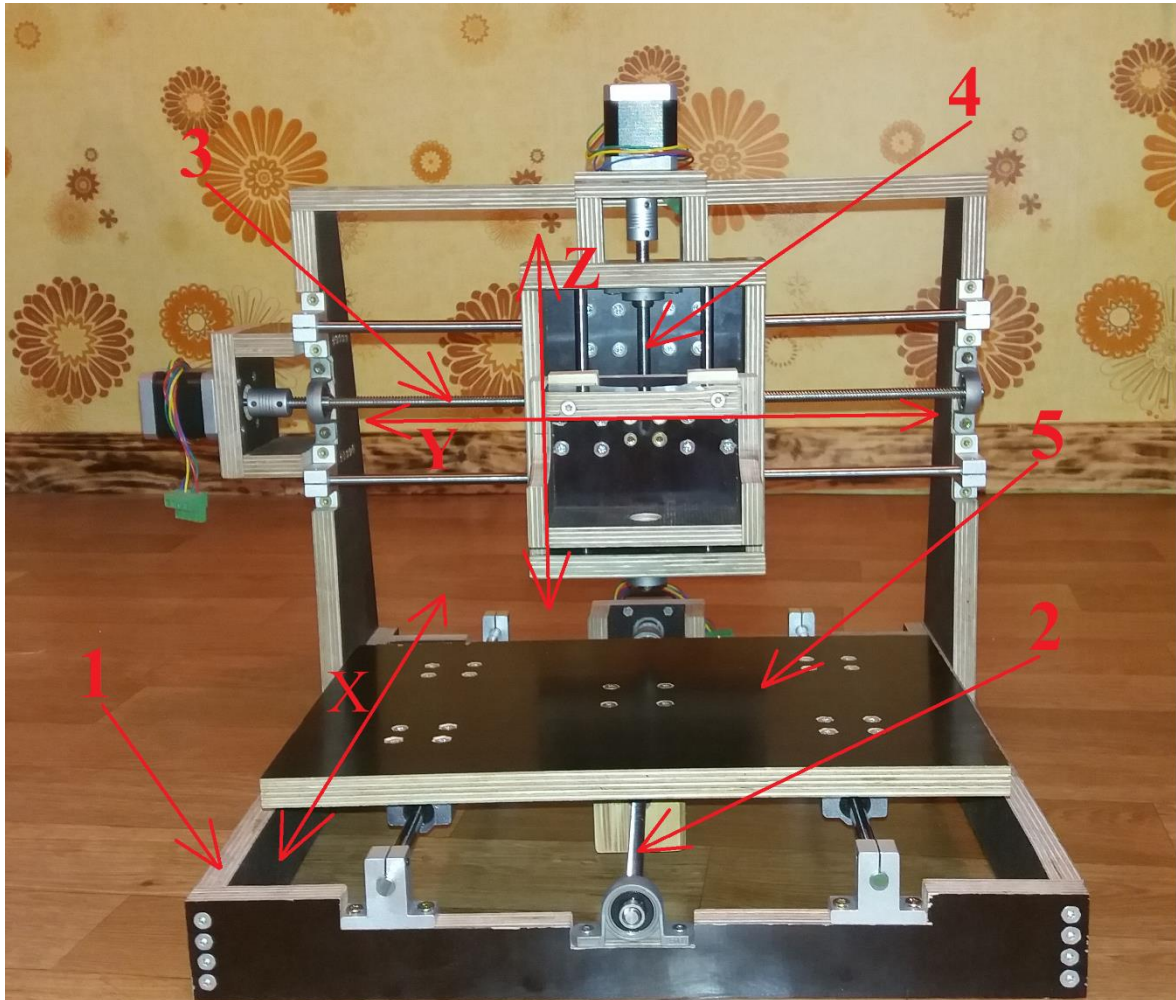


**Joonis 6.** Raamkonstruktsioon: 1- alusraami külje talad; 2- raamkonstruktsiooni külje plaat; 3- raamkonstruktsiooni pealmine tala; 4- laagripuki ja lineaarvarda toe pesad

Väljalõigatud detailide monteerimise käigus pandi esmalt kokku alusraamistik ja seejärel kinnitati küljeplaadid ja pealmine tala.

### 4.3. Töösõlmed

Töösõlmed koosnevad kolmest eraldiseisvast teljest, milledeks on x-telje töösõlm, y-telje töösõlm ja z-telje töösõlm (joonis 7). Töösõlmed omakorda koosnevad paljudest erinevatest komponentidest. Vastavad komponendid on töösõlmedesse välja valitud nende hinda arvestades ja tagamaks CNC freespingile võimalikult täieliku töökindluse.



**Joonis 7.** 3- teljelise CNC freespingi töösõlmed: 1- alusraamistik; 2- x-telje töösõlm; 3- y-telje töösõlm; 4- z-telje töösõlm; 5- trapetslatil liikuv töölaud

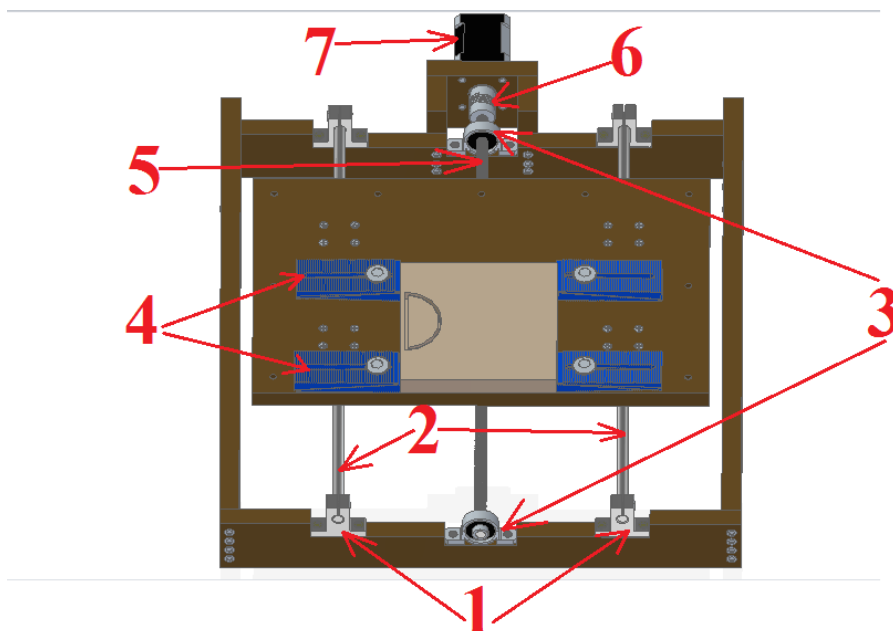
Jooniselt 7 võib selgesti näha, et x- telje töösõlm paikneb alusraamistikul, kus toimub töölaua liigutamine x- telje sihis. Raamkonstruktsiooni külje plaatide vahel on y- telje sõlm, kus liigutatakse z- telje töösõlme. Z- telje töösõlm liigub vertikaalselt x-teljel asetseva töölaua suhtes. Selle tulemusel toimub 3- telje sihiline liikumine koordinaatsüsteemi suhtes.

Töösõlmedes kasutatavateks komponendid on järgnevad:

- 1) lineaarvõlli tugi võllile läbimõõduga 8 mm;
- 2) lineaarjuhiku võll läbimõõduga 8 mm;
- 3) lineaarlaager pukiga, lineaarjuhiku võllile läbimõõduga 8mm;
- 4) laagri pukk trapetslatile läbimõõduga 8 mm;
- 5) trapetskeermelatt läbimõõduga 8 mm ja sammuga 8 mm;
- 6) trapetslati mutter trapetslatile läbimõõduga 8 mm ja samm 8 mm;
- 7) lame laagripukk võllile läbimõõduga 8 mm;
- 8) alumiiniumist muhvsidur.

#### 4.3.1. X- telje töösõlm

X- telje töösõlme ülesandeks on liigutada töölauda x-telje sihis, täpsema ülevaate saab jooniselt 8, kus on kujutatud x- telje töösõlmes kasutatavaid komponente. Töölauda tasapinna peale kinnitatakse freesitav detail, mida juhitakse samm-mootoriga, jõuülekandeks kasutatakse roostevaba terasest trapetskeermelatti läbimõõduga 8 mm ja sammuga 8 mm ning kogupikkuseks on 440 mm.



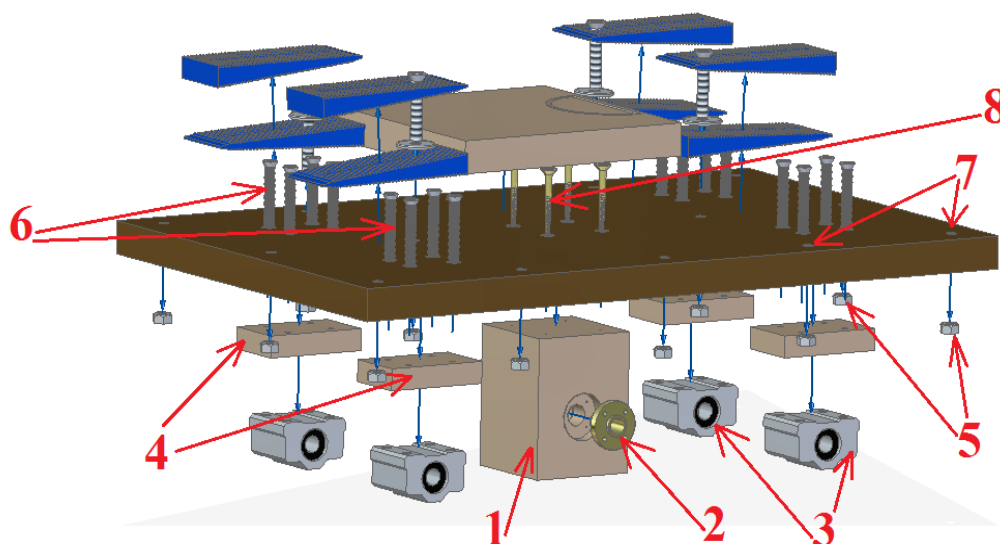
**Joonis 8.** x- telje töösõlme komponendid: 1- lineaarvõlli toed; 2- lineaarjuhiku võllid; 3- laagripukid; 4- töölauda tasapinnale kinnitatavad kiilud; 5- trapetskeermelatt; 6- muhvsidur; 7- samm-mootor kinnitatuna mootoriplaadile



Valik osutus trapetslati kasuks, kuna trapetskeermel on ühtlasem ja sujuvam keermekäik võrreldes meeterkeermega. Meeterkeere on väiksema sammuga ja keeme profiile võrreldes võib leida, et trapetskeeme profiil on nelinurkne, mis teeb keeme tugevamaks, annab jõulisema ülekande ning ei kogu mustust keermeprofiili vahele [23]. Trapetskeemelatt on kinnitatud kahe kandva laagripuki vahele, mis võtab vastu radiaalkoormust [24], laagripuki sisse on pressitud 608 RS tüüpi kuullaager. Laagreid kaitseb freesimise käigus tekkiva tolmu ja puidupuru eest laagrites olevad rõngastihendid, mis ei lase tolmul edasi pääseda kuullaagriteni, tagades kuullaagrite kvaliteedi ja vastupidavuse.

Samm-mootori võll (5 mm) ja trapetskeemelatt (8 mm) on omavahel ühendatud alumiiniumist muhvsiduriga. Viimane leevendab jõuülekande pöördemomendi ja mootori tekitatavat vibratsiooni. Seega säilib ka vajalik positsioneerimistäpsus. Samm-mootor on kinnitatud nelja M3 poldiga mootoriplaadi külge, mis on omakorda kinnitatud puksidele, hoidmaks mootorit-mootoriplaati-pukse fikseerituna.

Töölaua tasapinna paksuseks on 15 mm, mis liigub lineaarjuhiku võllide ja trapetskeemelati abil, täpsema komponentide asetuse leiab joonisel 9.



**Joonis 9.** Töölaua tasapinna komponendid: 1- Juhtpuks; 2- trapetskeemelati mutter; 3- lineaarlaager pukiga; 4- kõrgenduse vahetükk; 5- M5 mutter; 6 lineaarlaagri puksi poldid M4; 7- töötasapinna kinnitus avad; 8- juhtpuksi kruvid



Töölaua tasapinna aluspinnale on kinnitatud lineaarlaagri pukid M4 poltidega (joonis 9), mis liiguvad mööda lineaarjuhiku võlli. Lineaarlaagri puki sees on LM8UU tüüpi laagrid, mida on võimalik vajadusel välja vahetada, eemaldades selleks pukis olevad C- seibid. Töölaua tasapinna aluspinna ja lineaarlaagri puki vahele pannakse 10 mm paksune kõrgenduse vahetükk, mille tulemusel liigub töölaua tasapind lineaarvõllide tugedest üle etteantud piiratud teljeulatusega piirlüliti abil.

Trapetslati messingust mutter 8 mm on kinnitatud kruvidega juhtpuksi sisse, mis omakorda on kinnitatud töölaua tasapinna aluspinna külge kruvidega (joonis 9). Töölaua tasapinna aluspinnale on puupuuriga puuritud 4 mm sügavused avad läbimõõduga 8,5 mm, kuhu pannakse M5 mutter. Töölaua tasapinnale on puupuuriga puuritud läbivad avad läbimõõduga 5 mm, mis on ühtlasi töötasapinna kinnitusavaks. Läbi kinnitusavade on võimalik plastikkiile kasutades fikseerida detail. Plastikkiilul on sakiline profiil, poltidega kinni fikseerides lukustuvad kiilude profiilid omavahel, nõnda ei nihku kiilud paigast ja detail jääb kindlalt paika (joonis 8).

Lineaarvõllide toed on kinnitatud kruvidega alusraami talade külge, nende vahele on kinnitatud lineaarjuhiku võllid 415mm pikad (59 HRC ISO h6), mis on karastatud ja lihvitud läbimõõduga 8 mm. Kuna lineaarjuhiku võllid on mõeldud kandvateks sõlmedeks, lasub lineaarjuhiku võllidel raskusjõud töötasapinna ja freesitava detaili suhtes. Arvestades töölaua tasapinna massi 0,87 kg ja maksimaalse freesitava detaili raskust 5 kg, peab kasutatavate lineaarjuhiku võllide kohta tegema paindekoormuse arvutused, võttes arvesse varuga kaalu, milleks kokku on kandvat raskust 7 kg. Lineaarvõllid valiti välja firmast Alas-Kuul, margitähisega CF53, materjali tunnusnumbriga 1.1213 ja tootekood 64740800 [25]. Paindekoormused leitakse jagatud koormuse ja keskpunkt-koormuse korral valemiga, mis on leitav Mehaanikainseneri käsiraamatust [5:47]. Elastusmooduli väärtuseks valiti  $E = 210 \text{ kN/mm}^2$  [25].

$$f_{\text{jagatud koormus}} = \frac{F \times l^3}{384 \times E \times I} \quad (4.1.)$$

$$f_{\text{keskpunkt koormus}} = \frac{F \times l^3}{192 \times E \times I} \quad (4.2.)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (4.3.)$$

$$F = m \times g \quad (4.4.)$$

kus  $d$  – läbimõõt mm;  
 $E$  – elastsusmoodul N/mm<sup>2</sup>;  
 $F$  – mõjuv raskusjõud lineaarjuhiku völli N;  
 $f_{\text{jagatud koormus}}$  – koormus näitab jagatud läbipainet lineaarjuhiku völli mm;  
 $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  – koormuse näitab keskpunkti läbipainet lineaarjuhiku völli mm;  
 $g$  – raskuskiirendus m/s<sup>2</sup>;  
 $I$  – telginertsimoment mm<sup>4</sup>;  
 $l$  – jaotatud koormuse pikkus mm;  
 $m$  – mass kg;  
 $\pi$  – matemaatiline konstant mm.

Arvutuskäik

$$I = \frac{3,14 \times 8^4}{64} = 201 \text{ mm}^4 \quad (4.3.)$$

$$F = 7 \times 9,81 = 68,67 \text{ N} \quad (4.4.)$$

$$f_{\text{jagatud koormus}} = \frac{68,67 \times 415^3}{384 \times 210000 \times 201} \approx 0,3 \text{ mm} \quad (4.1.)$$

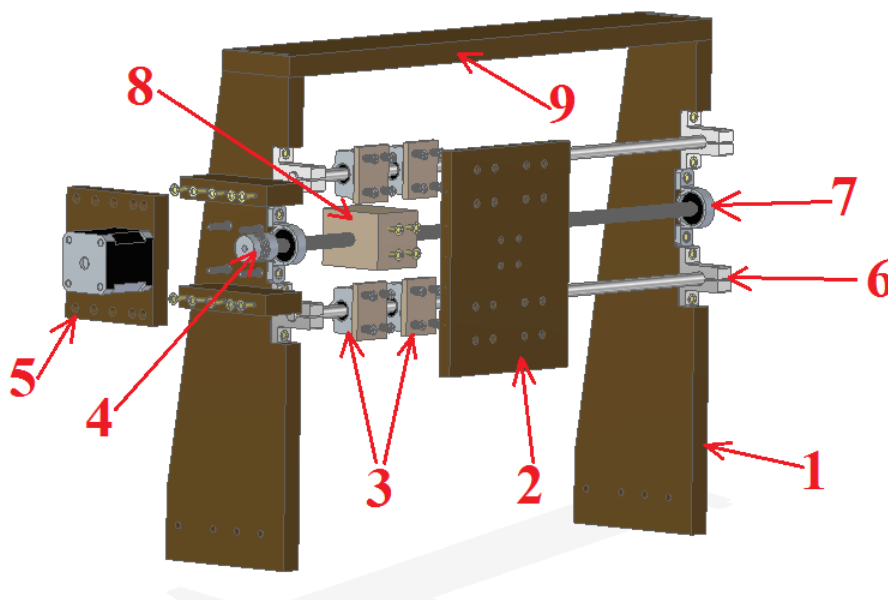
$$f_{\text{keskpunkt koormus}} = \frac{68,67 \times 415^3}{192 \times 210000 \times 201} \approx 0,6 \text{ mm} \quad (4.2.)$$

Arvutuste kohaselt on läbipaine ühe lineaarjuhiku völli kohta 7 kg kandvat raskust, võttes arvesse, et koormus jagatakse kahe lineaarjuhiku völli ja ühe trapetskeermelati vahel ära, milleks on 4.4 avaldise puhul  $68,67 \text{ N}/3 = 22,89 \text{ N}$ . Seega ühele lineaarjuhiku völli mõjuvaks raskusjõuks on 22,83 N, mis avalduks valemist 4.1  $f_{\text{jagatud koormus}}$  korral  $0,3 \text{ mm}/22,89 \text{ N} = 0,013 \text{ mm}$  ning valemist 4.2  $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  korral  $0,6 \text{ mm}/22,89 \text{ N} = 0,03 \text{ mm}$ .

Arvutustest võib järeldada, et nii  $f_{\text{jagatud koormus}}$  kui ka  $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  korral on lineaarjuhiku völli läbipained märkimisväärselt väikesed, mis ei sega puidu freesimist ning väikese läbipainde puhul ei mõjuta see ka freesitava puitdetaili täpsust, antud arvutustulemustega jäädakse rahule.

#### 4.3.2. Y- telje töösõlm

Y-telje töösõlme ülesandeks on liigutada z- telje töösõlme y- telje sihis, töösõlmes kasutatakse samade spetsifikatsioonidega komponente nagu x-telje töösõlmes. Y-telje töölauda, kuhu kinnitatakse z- telje töösõlm (joonis 11), liigutatakse samm-mootorite abil (joonis 10). Jõuülekaneks kasutatakse trapetskeermelatti kogupikkusega 456 mm, mis on ühendatud samm-mootoriga muhvsiduri abil. Trapetskeermelatt on kinnitatud kahe kandva laagripuki vahele, tagades ühtlase liikumise. Laagripukid on kinnitatud raamkonstruktsiooni küljeplaatidele süvendatud pesadesse (joonis 10).



**Joonis 10.** Y- telje töösõlme komponendid: 1- raamkonstruktsiooni külje plaat; 2- y-telje töölaud; 3- lineaarlaagri pukk kõrgendusvahetükkidega; 4- muhvsidur; 5- samm-mootor kinnitatuna mootoriplaadile; 6- lineaarvõlli tugi koos lineaarjuhiku võlliga; 7- laagripukk koos trapetskeermelatiga; 8- juhtpuks koos trapetskeermemutriga; 9- raamkonstruktsiooni pealmine tala

Lineaarvõlli tugede vahele on kinnitatud lineaarjuhiku võllid, mis on lõigatud 430 mm pikkuseks. Lineaarvõlli tugede vahel toimub töölauda y-telje sihis liigutamine. Töölauda tagumisele pinnale on kinnitatud lehtpuust juhtpuks, mille sees on trapetskeermemutter ning lineaarlaagri pukid koos lehtpuust 5 mm kõrgendusvahetükkidega. Lineaarjuhiku võllile mõjuva raskusjõu moodustavad: töölaud, z- telje töösõlm ja frees - kõik kokku varuga võetuna 3 kg.

Kontrollimaks, kas ja kui suure painde tekitab raskusjõud lineaarjuhiku võllile - muutes töösõlme ebatäpseks - leitakse Mehaanikainseneri käsiraamatust paindekoormuse valemid, jagatud koormuse ja keskpunkt koormuse korral [5:47]. Elastsusmooduli väärtuseks valiti  $E = 210 \text{ kN/mm}^2$  [26]. Lineaarvõllid (59 HRC ISO h6) margitähisega CF53 ja materjali tunnusnumbriga 1.1213.

$$f_{\text{jagatud koormus}} = \frac{F \times l^3}{384 \times E \times I} \quad (4.5.)$$

$$f_{\text{keskpunkt koormus}} = \frac{F \times l^3}{192 \times E \times I} \quad (4.6.)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (4.7.)$$

$$F = m \times g \quad (4.8.)$$

kus  $d$  – läbimõõt mm;

$E$  – elastsusmoodul  $\text{N/mm}^2$ ;

$F$  – mõjuv raskusjõud lineaarjuhiku võllile N;

$f_{\text{jagatud koormus}}$  – koormus näitab jagatud läbipainet lineaarjuhiku võllile mm;

$f_{\text{keskpunkt koormus}}$  – koormuse näitab keskpunkti läbipainet lineaarjuhiku võllile mm;

$g$  – raskuskiirendus  $\text{m/s}^2$ ;

$I$  – telginertsimoment  $\text{mm}^4$ ;

$l$  – jaotatud koormuse pikkus mm;

$m$  – mass kg;

$\pi$  – matemaatiline konstant mm.

Arvutuskäik

$$I = \frac{3,14 \times 8^4}{64} = 201 \text{ mm}^4 \quad (4.7.)$$

$$F = 3 \times 9,81 = 29,43 \text{ N} \quad (4.8.)$$

$$f_{\text{jagatud koormus}} = \frac{29,43 \times 430^3}{384 \times 210000 \times 201} \approx 0,14 \text{ mm} \quad (4.5.)$$

$$f_{\text{keskpunkt koormus}} = \frac{29,43 \times 430^3}{192 \times 210000 \times 201} \approx 0,29 \text{ mm} \quad (4.6.)$$

Paindekoormuse valemite avaldistest 4.5  $f_{\text{jagatud koormus}}$  ja 4.6  $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  leitakse läbipaine ühe lineaarjuhiku võlli kohta, 3 kg raskusjõud tuleb jagada kahe lineaarjuhiku võlli ja ühe trapetskeermelati vahel, avaldise 4.8 järgselt saame  $29,43 \text{ N}/3 = 9,81 \text{ N}$ . Seega ühele lineaarjuhiku võllile mõjuv raskusjõud on 9,81 N.

Avaldistest 4.5  $f_{\text{jagatud koormus}}$  korral saame 0,14 mm/9,81 N=0,014 mm ning 4.6  $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  korral saame 0,29 mm/9,81 N=0,03 mm.

Valemite avaldistest võib järeldada, et nii  $f_{\text{jagatud koormus}}$  kui ka  $f_{\text{keskpunkt koormus}}$  korral on läbipainded lineaarjuhiku võllile märkimisväärselt väiksed, mis ei sega lineaarjuhiku võllil liikumist ja puidu freesimist. Arvutustulemustega jäädakse rahule.

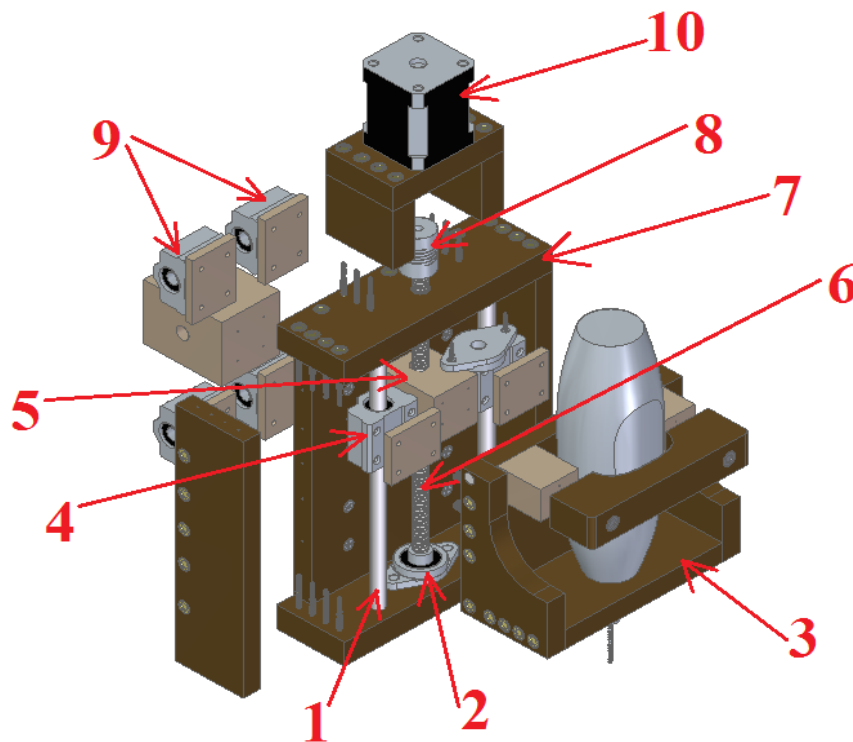
#### **4.3.3. Z- telje töösõlm**

Z-telje raamkonstruktsiooni ja freesi hoidiku projekteerimisel lähtuti nende mõõtmetest ja massist. Mida väiksem mass, seda väiksem on läbipaine y-telje töösõlmele, tagades CNC freespingi täpsuse. Oluline on detailidele lineaarjuhiku võlli ja trapetskeermelati ava puurimisel täpne märkimine, vastasel juhul nihkunud avade puhul ei liigu töösõlm vertikaalselt hästi, mille tulemusel võib mõjutada freesimisel täpsust.

Z-telje töösõlme raamkonstruktsioon on kinnitatud y- telje plaadi külge, mis liigub y- telje sihis. Z- telje tööülesanne on liigutada freesi hoidikut z- telje sihis. Z- telje töösõlmes kasutatakse samade spetsifikatsioonidega komponente, mis x-telje töösõlmes

Freesi hoidiku tagumisele pinnale on kinnitatud M4 poltidega kõrgendusvahetüki, lineaarlaagri pukid ja juhtpuks. Juhtpuksi sees on trapetskeermel mutter, mis on kinnitatud nelja 25 mm kruviga - nende abil toimub freesi hoidiku vertikaalne liikumine telje sihis. Samm-mootor on kinnitatud nelja M3 poldiga mootoriplaadi külge ja fikseeritud mootoriplaadi puksidele, mis on omakorda kinnitatud raamkonstruktsiooni külge.

Z- telje raamkonstruktsiooni alumisse ja ülemisse plaati puuriti puupuuriga 10 mm läbimõõduga läbivad avad. Trapetskeermelatt ulatub raamkonstruktsiooni ülemisest plaadist välja (joonis 11), kuid raamkonstruktsiooni lahti võtmata on trapetskeermelatt võimalik välja kruvida ülemisest plaadist.



**Joonis 11.** Z- telje töösõlme komponendid: 1- lineaarjuhiku võll; 2- lame laagripukk; 3- freesi hoidik; 4- z- telje lineaarlaagri pukk kõrgendusvahetükkidega; 5- juhtpuks koos trapetskeermel mutriga; 6- trapetskeermelatt; 7- z- telje töösõlme raamkonstruktsioon; 8- muhvsidur; 9- y- telje lineaarlaagri pukk kõrgendusvahetükkidega; 10- samm-mootor kinnitatuna mootoriplaadile

Roostevaba terasest trapetskeermelatti kasutatakse jõuülekandes. Trapetskeermelatt lõigati 195 mm pikkuseks ja fikseeriti kahe lame laagripuki vahele, kuhu on paigaldatud veel 608 RS tüüpi kuullaager. Samm-mootor ja trapetskeermelatt on ühendatud muhvsiduriga – need liigutavad freesi hoidikut (joonis 11)

Z- telje raamkonstruktsiooni alumisse ja ülemisse plaati puuriti lineaarjuhiku võllide jaoks puupuuriga 8 mm läbimõõduga ja 8 mm sügavused süvendid. Seejärel lõigati 176 mm pikkused lineaarjuhiku võllid, mis fikseeritakse puuritud süvenditesse. Et freesi hoidik saaks liikuda ettenähtud vahemikus, piiratakse liikumist piirlülititega, mis paigaldatakse z- telje töösõlme raamkonstruktsiooni külge.

## 5. ELEKTROONIKA

### 5.1.Mootorite valik

Samm-mootor on elektrimootor, mis muudab alalispinge impulss-signaalid mehaaniliseks energiaks, pannes mootori võlli pöörlema. Samm-mootorite eeliseks on see, et nad ei vaja tagasisidet ajami positsioneerimisel ehk neil puudub asendianduri vajadus. Samm-mootorite asendijuhtimine toimub sammude täpsusega, milleks antakse elektriline impulssisignaal, mis vastab teatud pöördenurgale ja suunale. Samm-mootori sammude viga võib esineda  $\pm 5\%$  [27,28].

Töösõlmed paneb liikuma samm-mootor. Samm-mootoreid valides tuleb silmas pidada mootorite poolt arendatavat maksimaalset pöördemomenti ja sammude pöördenurga täpsust, samuti hinnaklassi. Mootorite valimiseks töösõlmedesse tuleb teha arvutused, millist pöördemomenti on tarvis, et liigutada maksimaalse koormuse juures töölauda ja freesitavat detaili, millede maksimaalne mass võib olla varuga 7 kg. Selleks lahendatakse füüsikalised võrrandid [5:41;29;30].

$$F_F = \mu \times m \times g \quad (5.1.)$$

$$T_c = \frac{F_F \times \mu_c \times d_m}{2} \quad (5.2.)$$

$$T_r = \frac{F_F \times d_m}{2} \times \left( \frac{p \times \pi \times \mu \times d_m}{\pi \times d_m - \mu \times p} \right) + T_c \quad (5.3.)$$

kus  $\mu$  – terase hõõrde teguri koefitsient;

$d_c$  – trapetskeermelati mutri keerme keskmine läbimõõt mm;

$d_m$  – trapetskeermelati keerme keskmine läbimõõt mm;

$F_F$  – hõõrdejõud N;

$g$  – raskuskiirendus  $m/s^2$ ;

$p$  – keerme samm mm ;

$T_c$  – hõõrdemoment trapetslati muteri puhul Nmm;

$T_r$  – vajalik pöördemoment raskusjõu ületamiseks Nmm;

$\mu_c$  – trapetskeermelati mutri hõõrdeteguri koefitsient;

$\pi$  – matemaatiline konstant mm.

Arvutuskäik

$$F_F = 0,2 \times 7 \times 9,81 = 13,73 \text{ N} \quad (5.4.)$$

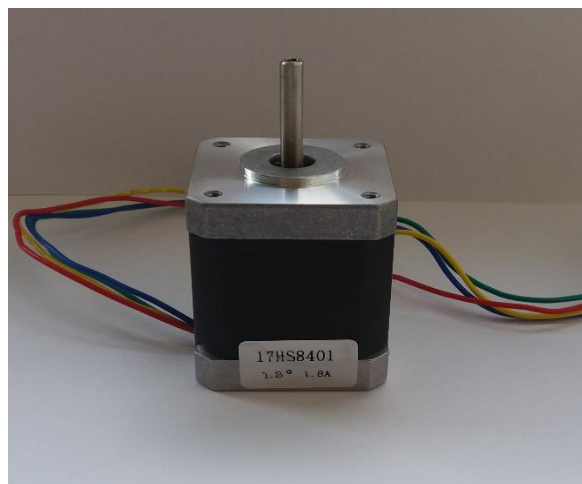
$$T_c = \frac{13,73 \times 0,1 \times 6}{2} \approx 4,12 \text{ Nmm} \quad (5.5.)$$

$$T_r = \frac{13,73 \times 7}{2} \times \left( \frac{2 \times 3,14 \times 0,2 \times 7}{3,14 \times 7 - 0,2 \times 2} \right) + 4,12 \approx 23,72 \text{ Nmm} \approx 0,024 \text{ Nm} \quad (5.6.)$$

Avaldisest 5.6 arvutusest leitakse vajaminev pöördemoment töösõlme liigutamiseks 7 kg raskuse puhul, milleks on 0,024 Nm. Vastavalt tulemusele vaadeldakse suuremat pöördemomenti omavat samm-mootorit, mis sobiks töösõlme telgedesse korrapärase töö tagamiseks.

**Tabel 4.** Samm-mootori spetsifikatsioon [31]

Nimipinge V	Nimi-vool A	Takistus Ohm	Faasi induktiivsus mh	Pöördemo- ment Nm	Kaal g	Sammu- nurk kraad
2,8	1,8	1,65	2,3	0,48	340	1,8



**Joonis 12.** Nema 17 samm-mootor

Samm-mootoriks valiti hübriidne bipolaarne 2 faasiline Nema 17, mudeliks 17HS8401 (joonis 12), mis on majanduslikult, kui ka näitajate poolest sobiv (tabel 4). Samm-mootori täpsus on 1.8 kraadi puhul  $360/1,8=200$  sammu täispöörde kohta, võttes arvesse, et trapetskeere on neljakäiguline ja sammuga  $p=2$  mm, mis liigutaks trapetskeermelati mutrit ühe



keermekäigu kohta  $P_h = 8$  mm, teeks see telje liigutamise täpsuseks  $8/200 = 0,04$  mm, mis on rahuldav tulemus.

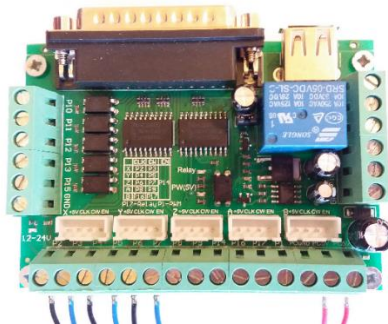
Vastav režiim valides on samm-mootorite draiveritega võimalik sammu täpsust veelgi suurendada. Samm-mootorite poolt pidevalt tagatud optimaalsel pöördemomendil on mootori maksimaalseks pöörelmiskiiruseks 500 p/min 12 V puhul, seega arvutatakse telgede maksimaalne positsioneerimise kiirus, võttes arvesse  $P_h$  keermekäigu, mis on  $500 \text{ p/min} \times 8 \text{ mm} = 4000 \text{ mm/min}$  telgede maksimaalne positsioneerimise kiirus [32].

Nema 17 on enamlevinud samm-mootor, mida kasutatakse laialdaselt nii 3D printerites kui ka CNC freespinkides. Lõputöös ehitatava CNC freespingi puhul kasutatakse 3 samm-mootorit.

## 5.2. Juhtelektroonika 1

### 5.2.1. Kontroller 1

Samm-mootorite töölepanekuks kasutatakse kontrollerit, mis suudab juhtida kuni 5 telge ehk kontrollerile on võimalik ühendada 5 samm-mootori draiverit. Tarkvara ja kontroller ühendatakse omavahel DB25 kaabliga ja omavaheliseks suhtluseks kasutatakse paralleelporti. Kontroller ühildub Mach3, EMC2 ja teiste tarkvaradega, mis toetavad paralleelpordi ühendust. Kontrolleril on 5 sisendit, kuhu saab ühendada telgede piirlülitid (x,y,z), hädastopp-lüliti jne [33].

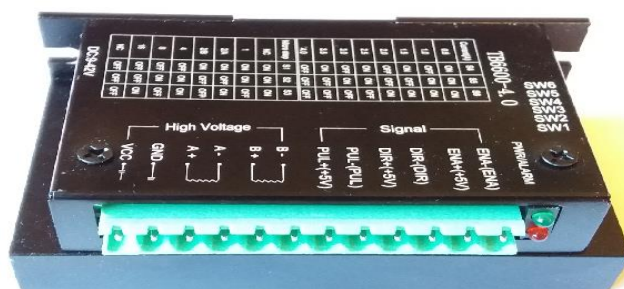


**Joonis 13.** Kontroller 5- telje jaoks

Kontrolleri juhtplaat saab toite juhtplaadi USB pordi kaudu, mis on arvuti USB pordiga ühenduses. Kontrolleriga on võimalik ühendada ka eraldiseisev toiteallikas 12-24 V, sealjuures on arvuti USB pesa kaitstud toiteallika 12-24 V pinge puhul, kuna kontrolleri USB ja eraldiseisev toitepesa on omavahel eraldatud dioodsillaga ehk ei lase 12-24 V USB pesa minna, mis tagab arvuti töökindluse [33]. Kontrollerile on võimalik frees eraldi ühendada, mis kontrollib läbi tarkvara spindlitöökiirust ja lülitub sisse-välja. Kontrolleri netokaal on 75g ja mõõdud (laius, pikkus, kõrgus) 70 mm×90 mm×20 mm. Kontroller kinitatakse juhtkorpuses oleva niiskuskindla filmivineerplaadi külge.

### 5.2.2. Samm-mootori draiver

Samm-mootori draiver TB6600 on kõrgetasemeliste näitajatega, mis sobib hästi juhtima 2 faasilisi samm-mootoreid, seadme sisend toitepingeks võetakse vastu 9~42 V ja maksimaalne väljund voolutugevust on 0~4,0 A, mida on võimalik vastavalt reguleerida (0,5A;1,0A;1,5A;2,0A;2,5A;3,0A;3,5A;4,0A). Impulss-signaali juhtimiseks ühendatakse 5V toide kontrollerilt. Draiveritel on võimalik sisse lülitada/talitleda erinevates astmetes mikrosamme (1;2/A;2/B;4;8;16), mis teeb samm-mootorite juhtimise täpsemaks [34].



**Joonis 14.** Samm-mootori draiver TB6600-4.0A

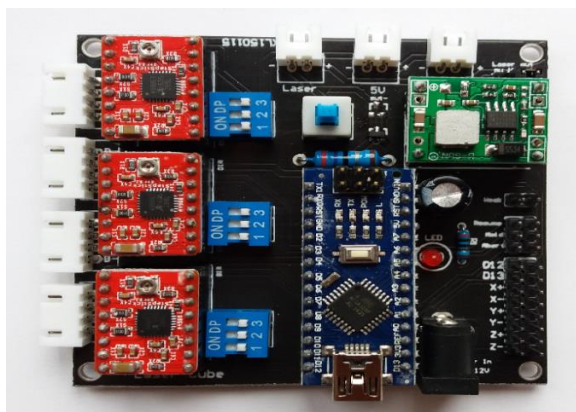
Draiveri tagumisel korpusel on jahutusradikas, mis ei lase elektroonilistel komponentidel üle kuumeneda ja komponente kaitseb väliste tegurite eest draiveri korpus (joonis 14). Maksimaalne impulss-sagedus on 200kHz. Draiveri netokaal on 253g ja mõõdud (laius, pikkus, kõrgus) 48 mm×80 mm×30 mm [34]. Lõputöös kasutatakse CNC freespingi samm-mootorite juhtimiseks 3 draiverit, mis kinnitatakse juhtimissüsteemi korpuse alusplaadi külge.

## 5.3. Juhtelektroonika 2

### 5.3.1 Kontroller 2

Kontroller, mis on võimeline korraga juhtima 3 telge (X, Y, Z), kasutatakse telgede liigutamiseks Grbl vabavara, mis genereerib G-koodi (joonis). Kontrolleri juhtplaat saab toite eraldiseisvast toiteallikast, mille pinget reguleeritakse 12 V pingeregulaatori abil. Elektriliste impulss-signaali edastamiseks kasutatakse kontrolleri juhtplaadi ja arvuti USB pordi vahelist ühendust [35].

Kontrolleri juhtplaadile on paigaldatud arduino nano V3.0 Atmega 328P baasil mikrokontroller, kus toimub andmete vahetus ja impulss-signaali juhtimine. Mikrokontrollerist saadetakse impulss-signaalid draiveritele, mis asuvad kontrolleri juhtplaadil. Tegemist on A4988 samm-mootori draiveritega, mis võimaldavad maksimaalset 2A voolutugevust ja nendega on võimalik erinevates astmetes mikrosamme sisse lülitada/talitleda (1, 2, 4, 8, 16). Kontrolleri juhtplaaadi külge on võimalik ühendada 4 samm-mootorit, 2 neist y- telje jaoks. Juhtplaadil on iga telje jaoks on piirlüliti ja hädastopp-lüliti ühendamise võimalus [35].



**Joonis 15.** Kontroller 3- telje jaoks

Lisaks on võimalik ühendada spindel, lasergraveerimisseade 12 V ja 5 V jahutusventilaator. Kontrolleri eeliseks on kompaktsus- kõik vajalik mootori juhtimiseks on paigaldatud juhtplaadile, mille kaal 150 g ja mõõdud (laius, pikkus, kõrgus) 85 mm×75 mm×25 mm. Miinuseks võib lugeda piiratust, mis on mõeldud kuni 2A voolutugevuse voolutarbimisega samm-mootorite jaoks [35].

## 5.4. Lisakomponendid

### 5.4.1. Toiteplokk

Toiteplokiks on välja valitud võimekas 250W CHNYF S-250-24 mudel, mis on välja valitud antud CNC puidufreespingile sobivaimate näitajate tõttu.. Kasutades toiteplokis olevat lülitit, on võimalik sisse lülitada vastav toitepinge väärtus, mis võimaldab toiteplokki toitepingena kasutada 230 V kui ka 115 V. Väljundiks on pinge 24 V ja maksimaalne voolutugevus 10A. Toiteplokk on varustatud ülepinge ja ülekoormuskaitsemega. Toiteplokis olevaid komponente jahutab sisseehitatud ventilaator (joonis 15) [36].



**Joonis 15.** Toiteplokk CHNYF S-250-24

Toiteplokki netokaal on 1,1 kg ja mõõdud (laius, pikkus, kõrgus) 115 mm×215 mm×50 mm. Soovitav töötemperatuur on vahemikus -10-50 °C [36]. Toiteplokki põhjas on kinnitusavad, kuhu kinnitatakse M3 poltidega niiskuskindlasti filmivineerist kinnitusplaadid, mis omakorda fikseeritakse juhtkorpuse alusplaadi külge (joonis 15).

### 5.4.2 Piirlülitid

Piirlüliteid kasutatakse asendiandurina iga telje töösõlmes, et panna paika mehaanilise liikumise trajektoor, mis vähendab töölaua poolt töösõlmede lõhkumist ja ühtlasi fikseeritakse ka efektiivne tööala.



**Joonis 16.** Piirlüliti

Piirlüliti, mida töösõlmedes kasutatakse, on binaarväljundiga: avatud asend 3 (NO) ja suletud asend 2 (NC) (joonis 16). Piirlüliteid on võimalik kasutada kahte moodi: NC on suletud asend - kontaktklemmi sulgemisel katkeb elektriahel; NO on avatud asend – kontaktklemmi sulgemisel ühendatakse elektriahel [37]. Pinge läbilaskmisvõime on 250 V ja maksimaalne voolutugevus on 5A. Töösõlmedes kasutatakse kokku 6 piirlülitit.

#### 5.4.2. Frees

Frees valiti välja tuntud multifunktsionaalsete tööriistade loojalt ja tootjalt DREMEL, kellel on pikaajaline töökogemus elektriliste tööriistade valmistamisel. Freesi mudeliks on DREMEL 3000, millel on mitmekülgsed omadused ja tehnilised näitajad. Freesi mootori nimivõimsus on 130W, tagades muljetavaldava jõudluse, tarbitav pinge on 230V (joonis 17).



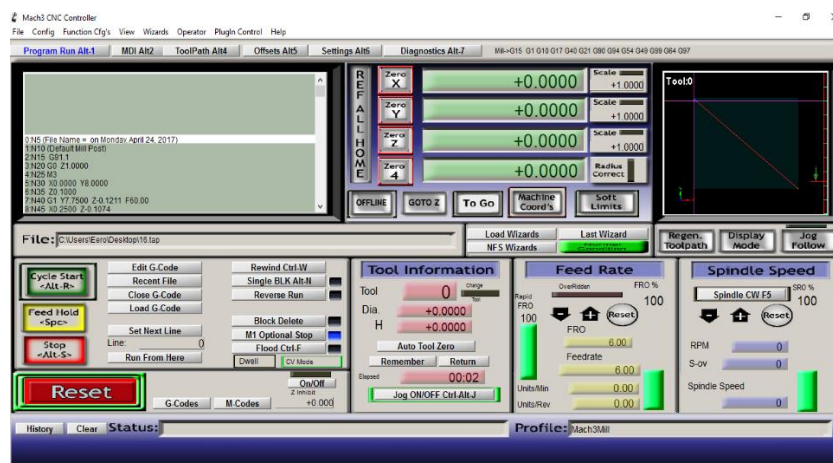
**Joonis 17.** Frees DREMEL 3000

Freesi mass 550g ei koorma z-telje töösõlme. Freesi eeliseks on pöörete reguleerimine 10 astmega ehk tühikäigupöörete arv 10000-33000 p/min. Spindlil on tarvikute kiirvahetussüsteem, mille abil saab kiiresti ja lihtsasti freesi terasid vahetada või kõrgust reguleerida, kasutatavad freesiterad on 3,175 mm läbimõõduga. Freesi töötamise helitugevus on 88,4 dB. Mõõtmetelt on frees kompaktne: 5 cm×19 cm×4,5 cm (laius, pikkus, sügavus) [38]. Joonisel 11 on välja toodud, kuidas frees on fikseeritud freesihoidikusse.

## 6. Tarkvara

### 6.1. Mach3

Mach3 on CNC freespingi tarkvara, mida kasutatakse juhtelektroonika 1 kontrolleri puhul, sest see toetab täielikult mach3 seadistusi ja kasutab paralleelpordi ühendust, mis on mõlemapoolse suhtluse puhul oluline (joonis 18). Mach3 tarkvara on populaarne nii hobikorras kui ka tööstuses kasutatavate CNC freespinkide tarkvarana. Mach3 tarkvarapakett on võimalusterohke: on võimalik lihtsasti erinevaid parameetreid seadistada ja lisaseadmeid - nagu piirlüliteid, hädastopp-lüliti jne signaale - seadistada [39]. Mach3 tööpõhimõte on töödelda G-koodist elektriline impulss-signaali, millele vastab teatud pöördenurk ja suund. See info edastatakse jadaliidese RS232 kaudu kontrolleri ja kontrolleri omakorda elektriliste impulss-signaali draiveritele, muutes alalispinge impulss-signaali mehaaniliseks energiaks. Nõnda hakkavad tööle samm-mootorid, mis liigutavad tööõlmi.



Joonis 18. Mach3 tarkvarast ekraanitõmmis

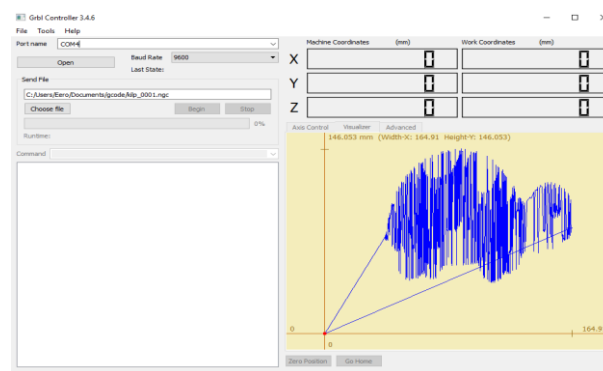
G-koodiks genereeritakse failid (mustrid, logod, pildid jne.) Inksapes võimeka vektorgraafika tarkvara abil, mis on vabavarana kättesaadav tarkvara. Inkscape tarkvara võimaldab erinevaid failivorminguid 2D (SVG,PDF,PNG, EPS, PS jne) importida ja eksportida. Kasutajasõbralikke funktsioone on lihtne hallata, lisaks on tarkvaral

mitmekeelne tugi [40]. Mach3 installitavas tarkvarapaketis on samuti LazyCam tarkvara, millega on võimalik erinevaid pildiformaate importida 2D (JPG, HPGL, DXF, BMP ) otse LazyCami ja genereerida G-koodi [39].

Mach3 tarkvarapakett on tasuline, selle litsents maksab 175\$, kuid on võimalik ka demoversiooni kasutada, millel on aga piirangud peal, 500 G-koodi rida võimalik kasutada ( litsentsiga 10,000,000), alusta siit koodireast, funktsioon välja lülitatud (valitakse koodi rida, kust soovitakse G-koodi juhtprogramm käivitada). Mach3 tarkvara kasutamise nõuded arvutile: operatsioonisüsteemiks Windowsi 32-bit versioonidest (Windows 2000, Windows XP, Windows Vista, Windows 7 või Windows 8). Videokaardi mälu on tarvis vähemalt 512 MB ja arvuti taktsagedust vähemalt 1 Ghz [39].

## 6.2. Grbl

Grbl on avatud lähtekoodiga (ehk pääseb tarkvara programmikoodile ligi) vabavaraline tarkvara, mis töötab koostöös arduinoga (joonis 19). Grbl tarkvara kasutatakse G-koodi edastamiseks CNC freespingi juhtelektroonika 2 kontrolleri puhul, mis ühildub hästi kontrolleriiga, kuna on ehitatud arduino nano V3.0 ATmega 328P baasil. Grbl tarkvara on võimeline juhtima ainult 3 telge (X, Y, Z) [41].



**Joonis 19.** Grbl tarkvarast ekraanitõmmis

Grbl tarkvara märksõnaks on lihtsus. See on mõeldud 3D printerite ja väiksemate vähenõudlike CNC freespinkide jaoks. Tarkvara ja kontrolleri omavaheline suhtlus toimub USB pordi kaudu, kus edastatakse elektrilisi impulss-signaale. Tarkvara saab rakendada järgmistes operatsioonisüsteemides: Windows, Mac ja Linux [41].



## **7. Tulemused**

### **7.1. Juhtelektroonika valik**

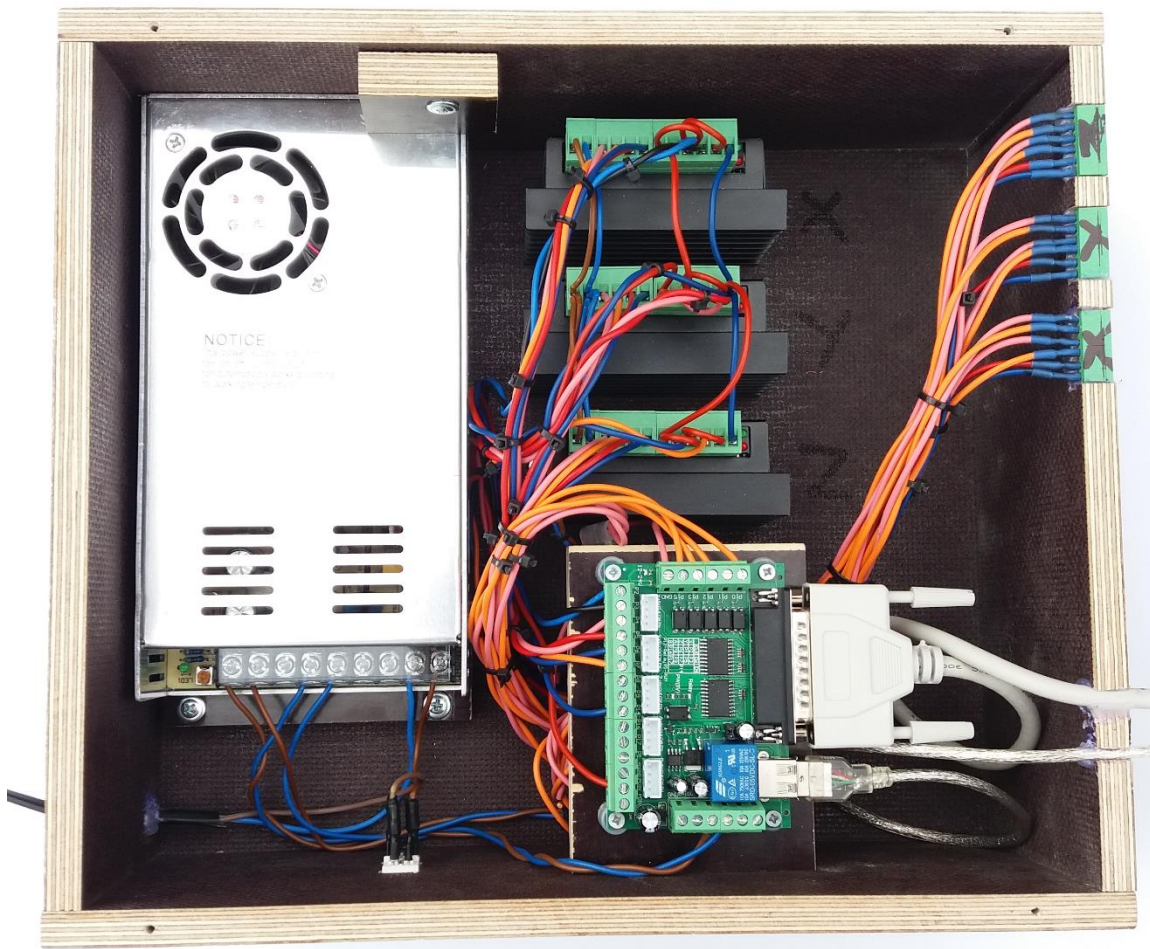
3-teljelise CNC puidufreespingi elektroonika osas valiti kahe juhtelektroonika vahel. Selleks tehti katseid kahe erineva juhtelektroonikaga, et leida sobilikum variant antud projekti nii hinna kui ka funktsionaalsuse poolest. CNC puidufreespink pandi tööle, vaadeldi kahe erineva juhtelektroonika töötamist, sh ka tarkvara.

Juhtelektroonika 2 puhul on võtmesõnaks lihtsus ja kompaktsus, lisaks kontrolleri le on juhtplaadile paigaldatud samm-mootori draiverid, mis on mõeldud kuni 2A voolutarbimisega mootorite jaoks ja nõuavad eraldi jahutamist. Juhtelektroonika haldamiseks kasutatav Grbl tarkvara on lihtsasti hallatav, miinuseks võib tuua funktsioonide vähesust ja tarkvara aeglust: töölaua liikumisel läbitava vahemaa näidud ei ole reaajas, vaid ilmuvad ekraanile hiljem. Piirlüliti rakendumisel tarkvaraühendus katkestatakse COM pordist täielikult ja juhtprogrammi tegevus nullitakse. Olenemata sellest on siiski võimalik tarkvara ja juhtelektroonika 2 koostöö toimel edukalt juhtida CNC puidufreespink.

Juhtelektroonika 1 puhul on eeliseks kontrolleri võimekus ja 3 eraldiseisvat draiverit, mis võimaldavad kasutada kuni 4A voolutarbimisega samm-mootoreid, kasutades selleks Mach3 tarkvara. Telgede liigutamisel on oluline, et tarkvaras saab muuta samm-mootori tööparameetreid või juhtida kontrolleri ühenduses olevaid tööseadmeid ning neid sisse-välja lülitada.

Autor otsustas antud projektis kasutada juhtelektroonika 1, arvestades kontrolleri ja tarkvara võimekust ning võttes arvesse, et juhtelektroonika 1 ja juhtelektroonika 2 kujunes hinnavaheks 1,8 eurot juhtelektroonika 2 kasuks (tabel 5).





**Joonis 20.** Juhtimissüsteemi korpus juhtelektroonika 1 sisuga

Juhtelektroonika 1 ja toiteplokk paigaldati juhtimissüsteemi korpusesse ja ühendati omavahel, paigaldati kontaktklemmide terminalid, mis võimaldavad juhtimissüsteemi korpuse küljest vajadusel kaablid lahti ühendada, lisaks tehti vastavalt kasutatavatele elektroonika komponentidele elektriskeem, mis on LISAS A. ja juhtimissüsteemi korpusest tehnilised joonised, mis asuvad LISAS B.

Lisaks paigaldati juhtimissüsteemi korpusele sisse-välja lüliti ja vastavalt ohutusnõuetele paigaldati ka hädastopp-lüliti, mis automaatselt seiskab CNC puidufreespingi töö. Juhtimissüsteemi korpuse kogukaal koos elektroonika komponentidega on 5,2 kg.

## 7.2. Ressursikulu

### 7.2.1. Komponentide maksumus ja võrdlus

3-teljelise CNC puidufreespingi ehitusmaksumus on välja toodud tabelis 5, kus on täpsemalt näha kasutatavaid komponente, kogust ja maksumust. 3-teljelise CNC puidufreespingi ehitamisele kulus 259,35 eurot. Tabel 5 tuuakse ka välja juhtelektroonika 2 komponentide hinnad tabelist väljajäänud kauba nime all, mis ei kuulu ehitusmaksumuse sisse.

**Tabel 5.** 3-teljelise CNC freespingi komponentide hind [22,25,31,38,42-48]

Detail Nr.	Kaup/Teenus	Kogus	Ühik	Tüki hind	Kokku
1	2	3	4	5	6
1.	Kontroller 1	1	tk.	8,54	8,54
2.	Driver TB6600	3	tk.	6,59	19,77
3.	Nema 17 samm-mootor	3	tk.	9,10	27,30
4.	Toiteplokk 24V 10A	1	tk.	15,33	15,33
5.	Muhvsidur	3	tk.	0,80	2,40
6.	Laagripukk 8mm	4	tk.	1,00	4,00
7.	Lame laagripukk 8mm	2	tk.	0,98	1,96
8.	Trapetskeermelatt 8mm (600mm)	1,2	m	17,10	20,52
9.	Trapetskeermelatt 8mm (300mm)	0,3	m	28,20	8,46
10.	Trapetskeermelatti mutter 8mm	3	tk.	0,77	2,31
11.	Lineaarvõlli tugi 8mm	8	tk.	1,15	9,20
12.	Lineaarvõll 8mm	3	m	9,00	27,00
13.	Lineaarlaagri pukk 8mm	10	tk.	1,88	18,80
14.	Elektrikaabel 0,75 mm <sup>2</sup>	36	m	0,30	10,80
15.	Elektritarvikud (lülitid, kaabliside, termokah. toru)	1	-	2,90	2,90
16.	Piirlüliti	6	tk.	0,12	0,72
17.	4 klemmi pistiku terminaliplokk	5	tk.	0,78	3,90
18.	Kaabli lint (kaabli energiaket)	1	tk.	3,72	3,72
19.	Frees DREMEL 3000	1	tk.	50,00	50,00
20.	Freesi tera	1	tk.	0,76	0,76
21.	Hädastopp-lüliti	1	tk.	1,76	1,76
22.	Kiilud (töölaua detaili fikseerimiseks)	1	tk.	1,45	1,45
23.	Kinnitusvahendid (kruvid, poldid, mutrid, seibid)	1	tk.	7,99	7,99
24.	12 mm niiskuskindel filmivineer FW 1,50×0,345m	0,52	m <sup>2</sup>	7,70	4,00
25.	12 mm niiskuskindel filmivineer FW 1,50×0,345m	0,60	m <sup>2</sup>	9,60	5,76
<b>Lõppsumma,€</b>					259,35
Detail Nr.	Tabelist väljajäänud kaup	Kogus	Ühik	Tüki hind	Kokku
1	2	3	4	5	6
1.	Kontroller 2	1	tk.	23,26	23,26
2.	Pingeregulaator LM2596S	1	tk.	1,75	1,75
3.	Toitepistik 2,1/5,5mm	1	tk.	1,50	1,50
<b>Lõppsumma,€</b>					26,51

Järgnevas tabelis on välja toodud komponentide hinnavõrdlus, kui palju kulus ostes välismaalt (Hiina, Läti) ja kui palju oleks kulunud raha Eestist komponentide ostmisele (tabel 6). Võrreldi välismaalt tellitud komponente Eestist saadaolevatega.

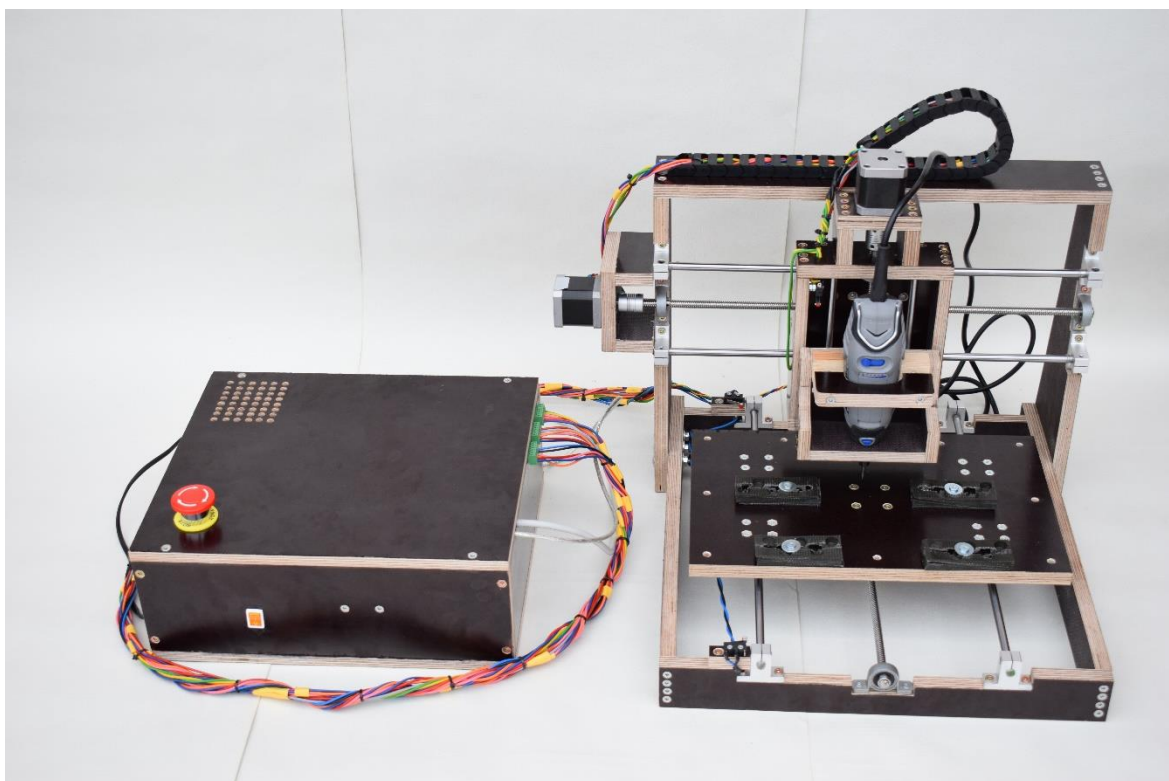
**Tabel 6.** 3-teljelise CNC freespingi komponentide hindade võrdlus [22,25,31,38,42-48]

Detail Nr.	Kaup/Teenus	Kogus	Ühik	Tüki hind Eesti	Tüki hind Läti	Tüki hind Hiina	Läti kokku	Hiina kokku	Eesti kokku
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Driver TB6600	3	tk.	21,60	-	6,59	-	19,77	64,80
2.	Nema 17 samm-mootor	3	tk.	16,92	-	9,10	-	27,30	50,76
3.	Toiteplokk 24V 10A	1	tk.	67,26	-	15,33	-	15,33	67,26
4.	Muhvsidur	3	tk.	2,40	-	0,80	-	2,40	7,20
5.	Laagripukk 8mm	4	tk.	3,60	-	1,00	-	4	14,40
6.	Lame laagripukk 8mm	2	tk.	3,60	-	0,98	-	1,96	7,20
7.	Trapetskeer-melatt 8mm (600mm)	1,2	m	38,20	-	17,10	-	20,52	45,84
8.	Trapetskeer-melatt 8mm (300mm)	0,3	m	38,20	-	28,20	-	8,46	11,46
9.	Trapetskeermelati mutter 8mm	3	tk.	3,54	-	0,77	-	2,31	10,62
10.	Lineaarvõlli tugi 8mm	8	tk.	2,88	-	1,15	-	9,20	23,02
11.	Lineaarlaagri pukk 8mm	10	tk.	5,10	-	1,88	-	18,80	51,00
12.	Piirlüliti	6	tk.	0,42	-	0,12	-	0,72	3,36
13.	4 klemmi pistiku terminaliplokk	5	tk.	1,20	-	0,78	-	3,90	6,00
14.	Kaabli lint (kaabli energiakett)	1	tk.	12,00	-	3,72	-	3,72	12,00
15.	Freesi tera	1	tk.	2,64	-	0,76	-	0,76	2,64
16.	Pingeregulaator LM2596S	1	tk.	5,40	-	1,75	-	1,75	5,40
17.	Hädastopp-lüliti	1	tk.	7	-	1,76	-	1,76	7
18.	12 mm niiskuskindel filmivineer FW 1,50×0,345m	0,52	m <sup>2</sup>	11,60	7,70	-	4	-	6,03
19.	12 mm niiskuskindel filmivineer FW 1,50×0,345m	0,60	m <sup>2</sup>	19,10	9,60	-	5,76	-	11,46
<b>Lõppsumma,€</b>							152,42		407,75

Enamus komponente osteti välismaalt (Hiina, Läti) ja mida polnud võimalik/vajadust tellida, osteti Eestist. Komponentide maksumuseks kujunes välismaalt ostes 152,42 eurot, Eestist ostes oleks pidanud samade komponentide eest välja käima 407,75 eurot, välismaalt tellitud ainuüksi komponentide hinnavõiduks kujunes 255,33 eurot, mis moodustab tervelt CNC puidufreespingi ehitusmaksumuse.

### 7.3. Projekteerimine ja ehitamine

CNC puidufreespingi projekteerimiseks ja ehitamiseks visandati algupärased joonised paberile. Seade projekteeriti lõplikult Solid Edges valminud jooniste põhjal. Peale vajalike detailide väljalõikamist ja komponentide ostmist pandi x,y ja z telje sihis telgi liigutav CNC puidufreespink kokku (joonis 21).



**Joonis 21.** 3-teljeline CNC puidufreespink

CNC puidufreespingil on avatud töölaud, mis tähendab et võib ka pikemaid detaile vahele panna, soovitatav on kasutada kuni 5 kg kaaluvat detaili. 3-teljelise CNC puidufreespingi ehitamiseks sh. projekteerimiseks on aega kulunud kokku 283 tundi, millest 57 tundi

moodustas ehitamise ajakulu. Kõige ajakulukam oli visandite tegemine ja projekteerimine ehk erinevate töösõlmede ja raamkonstruktsiooni mõõtmete paika panek ning joonestamine. 3- teljelise CNC puidufreespingi tehnilised joonised on LISAS C.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö projekti raames projekteeriti ja ehitati valmis 3- teljeline CNC puidufreespink ergonoomiliste mõõtmete ja väikse massiga, mis lihtsustaks transporti ja ei võtaks palju ruumi, ent samas suudaks freesida Eestis enamlevinud puuliike ja vajadusel ka pehmemat plastikut ning metalli. Raamkonstruktsiooni projekteerimisel lähtuti saadaolevatest komponentidest ja materjalidest. Kriteeriumiks oli, et seadme lõpphind peab jääma alla 350 euro, et püsida konkurentsilt kõige kasulikuma võimalusena arvestades turuhindu. Juhtimissüsteemi korpusest ja 3-teljelisest CNC puidufreespingist tehti tehnilised joonised ning elektroonikast elektriskeem.

Raamkonstruktsiooni projekteerimisel valiti kahe materjali vahel: alumiinium (5083) ja niiskuskindel filmivineer FW. Nii paremate omaduste kui ka hinnaklassi poolest jäi peale niiskuskindel filmivineer FW. Töösõlmedes tehti vajalikud paindekoormuse arvutused leidmaks sobivad lineaarjuhiku võllid ja samm-mootoritele pöördemomendi arvutused.

Enamus komponente telliti välismaalt (Hiina, Läti) sobivama hinna tõttu. Valiti välja sobiv elektroonika ja kasutajasõbralik juhttarkvara. 3-teljeline CNC puidufreespink valmis üldmõõtmetega (pikkus, laius kõrgus) 515×530×430 mm ja koos komponentidega kaalub 8,7 kg. Efektiivne tööala on (X,Y,Z) 220×330×112 mm ja telgede maksimaalne positsioneerimise kiirus on 4000 mm/min. 3- teljelisel CNC puidufreespingil on avatud töölaud, mis tähendab, et võib ka töölauale pikemaid detaile asetada, soovitatav on kasutada maksimaalselt 5 kg kaaluvat toorikut või detaili. Töösõlmede liigutamise täpsuseks on 0,04 mm, mis on rahuldav tulemus, arvestades, et samm-mootorite draiveritel on võimalik reguleerida erinevates astmetes mikrosamme, mille abil saab sammu täpsust veelgi suurendada.

3- teljelise CNC freespingi ehitusmaksumuseks kujunes 259,35 eurot sh juhtimissüsteemi korpus. Tulemusega võib rahule jääda, kuna etteantud hind jäi kavandatava eelarve piiresse.

Edaspidiste katsetuste raames saaks muuta raamkonstruktsiooni ehitust, et oleks võimalik kasutada vähem lisakomponente, loobudes nt lineaarjuhiku võlli tugedest.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. V. Põldmaa. (2008). Arvprogrammjuhtimisega pingid ja nende programmeerimine. [on-line]  
<http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/IN660/CNC%20arvprogrammjuhimisega%20pingid.pdf> (20.03.2017)
2. CNC tutor: Coordinate Systems. [on-line]  
<http://cnc tutor.weebly.com/coordinate-systems.html>  
<http://cnc tutor.weebly.com/coordinate-systems.html>
3. V. Veski. (2001). Arvjuhtimisega seadmete programmeerimine. [on-line]  
<http://www.ene.ttu.ee/leonardo/cnc/CNCtoopingid10.pdf> (20.03.2017)
4. Cartesian Coordinate Systems. [on-line]  
<http://program-cnc.blogspot.com/2009/11/coordinate-system.html> (21.03.2017)
5. Mehaanikainseneri käsiraamat. (2013)./Toim. P. Kulu, E.Hendre. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. 492 lk.
6. CNC Programming Principles and Applications. (2002). / Ed. M. Mattson: Clackamas Community College Oregon City. [on-line] (22.03.2017)
7. Brindfeldt, E., Lepiksoo, U. (2011). Mehhatroonikaseadmed. [on-line]  
[http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid\\_9.html](http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_9.html) (23.03.2017)
8. ECCOM.- CNC freespinkide müük ja hooldus. [on-line]  
<http://eccom.ee/ettevotest/> (24.03.2017)
9. CNC-STEP.- CNC machines manufacturer. [on-line]  
<http://www.cnc-router-store.com/> (24.03.2017)
10. Kuldne börs. CNC freespink [on-line]  
[http://www.kuldnebors.ee/search/tooriistad-masinad-ja-seadmed/puutoomasinad/cnc-pink-1220x2300/search.mec?pob\\_post\\_id=64674810&pob\\_action=show\\_post&pob\\_cat\\_id=10795&pob\\_browser\\_offset=0&pob\\_view\\_language\\_id=et&search\\_evt=onsearch&search\\_Ostring=cnc](http://www.kuldnebors.ee/search/tooriistad-masinad-ja-seadmed/puutoomasinad/cnc-pink-1220x2300/search.mec?pob_post_id=64674810&pob_action=show_post&pob_cat_id=10795&pob_browser_offset=0&pob_view_language_id=et&search_evt=onsearch&search_Ostring=cnc) (27.04.2017)
11. Aliexpress – Alibaba Group. CNC freespink TwoWin CNC 3040 [on-line]  
[https://www.aliexpress.com/item/200W-Three-axis-Ball-Screw-CNC-Router-Engraver-Engraving-Milling-Drilling-Cutting-Machine-CNC-3040-Z/32712744259.html?spm=2114.01010208.3.2.zWlrhO&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,search](https://www.aliexpress.com/item/200W-Three-axis-Ball-Screw-CNC-Router-Engraver-Engraving-Milling-Drilling-Cutting-Machine-CNC-3040-Z/32712744259.html?spm=2114.01010208.3.2.zWlrhO&ws_ab_test=searchweb0_0,search)

[hweb201602\\_6\\_10065\\_10068\\_433\\_434\\_10136\\_10137\\_10138\\_10060\\_10062\\_10141\\_10056\\_10055\\_10054\\_121\\_10059\\_10531\\_10099\\_10530\\_10103\\_10102\\_10096\\_10052\\_10144\\_10053\\_10050\\_10107\\_10142\\_10051\\_10143\\_10526\\_10529\\_10084\\_10083\\_10080\\_10082\\_10081\\_10110\\_10111\\_10112\\_10113\\_10114\\_10078\\_10079\\_10073\\_10070\\_10122\\_10123\\_10124-10530\\_10102,searchweb201603\\_1,afswitch\\_1,ppcSwitch\\_5,single\\_sort\\_0\\_default&btsid=c980606c-4adc-4413-b29d-f5643e337b72&algo\\_expid=59417517-3ee1-4228-8822-c82011ce143f-0&algo\\_pvid=59417517-3ee1-4228-8822-c82011ce143f](#) (26.03.2017)

12. Ebay. CNC freespink Redsail RS 3040 [on-line]  
<http://www.ebay.com/itm/800W-CNC-Router-Engraver-Engraving-Milling-Machine-RS-3040-Free-Shipping-/112086363990> (26.03.2017)
13. Redsailn. RS 3040 [on-line]  
[http://www.redsailcnc.com/images/RS3040\\_detail.jpg](http://www.redsailcnc.com/images/RS3040_detail.jpg) (26.03.2017)
14. Techncal data High-Z CNC Router. [on-line]  
[http://www.cnc-router-store.com/wp-content/uploads/overview\\_standard\\_series\\_cnc\\_milling\\_machine\\_high-z\\_s.pdf](http://www.cnc-router-store.com/wp-content/uploads/overview_standard_series_cnc_milling_machine_high-z_s.pdf)  
 (26.03.2017)
15. Solid Edge ST8. [on-line]  
[https://www.plm.automation.siemens.com/en\\_us/products/solid-edge/st8/](https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/solid-edge/st8/)  
 (28.03.2017)
16. A. Just, E. Just, K. Õiger. (2013). Puitkonstruktsioonide erikursus [on-line]  
[https://ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste\\_projekteerimise\\_instituut/Oppematerjalid/Erikurus/Konspekt\\_Puidu\\_erikursus\\_-\\_AJust\\_25112013.pdf](https://ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/Erikurus/Konspekt_Puidu_erikursus_-_AJust_25112013.pdf)  
 (01.04.2017)
17. Ningbo Defa aluminium profiili tarvikud. [on-line]  
<http://ee.chinadfh.org/aluminum-profile-accessories/profile-connectors/aluminum-angle-connectors-for-aluminum.html> (04.04.2017)
18. MaxPly. [on-line]  
<http://maxply.eu/en/plywood-birch/> (04.04.2017)
19. Europlywood [on-line]  
<http://europlywood.com/catalogue/film-faced-plywood/> (04.04.2017)
20. Nael ehitusmaterjalid. [on-line]  
<http://nael.ee/?op=body&id=2&prod=870&sid=7913> (04.04.2017)



21. Tallinna Tehnikaülikool. Mehaanilised omadused [on-line]  
[https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika\\_instituut/MTM0140/Meh\\_om\\_sissejuhatus.pdf](https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MTM0140/Meh_om_sissejuhatus.pdf) (05.04.2017)
22. Valdis veikali ehituspood. Lätis [on-line]  
<http://valdis.lv/lv/valdis-veikali/> (05.04.2017)
23. CNC router source. [on-line]  
<http://www.cncroutersource.com/acme-thread.html> (09.04.2017)
24. Masinaelemendid ja koostetööd. [on-line]  
[http://www2.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE\\_TEEMAD:LAAGERDUSED:Veerelaagrite\\_liigid%2C\\_nende\\_ehitus\\_ja\\_t%F6%F6re%B8ii](http://www2.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE_TEEMAD:LAAGERDUSED:Veerelaagrite_liigid%2C_nende_ehitus_ja_t%F6%F6re%B8ii) (10.04.2017)
25. Alas-kuul. Lineaarjuhikuvõll [on-line]  
<https://www.alas-kuul.ee/lineaarjuhik-karastatud-ja-lihvitud-59-hrc-iso-h6-ots-markeeritud-rohelise-varviga-ljm-8-mad-1000-mm> (11.04.2017)
26. Longhai steel. [on-line]  
<http://www.upsteel.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=18&id=9623> (11.04.2017)
27. Brindfeldt, E., Lepiksoo, U. (2011). Mehhatroonikaseadmed. [on-line]  
[http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid\\_8.html](http://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_8.html) (17.04.2017)
28. Tallinna Tehnikaülikool. Servo- ja samm-ajamid [on-line]  
[https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika\\_instituut/MTM0140/Meh\\_om\\_sissejuhatus.pdf](https://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MTM0140/Meh_om_sissejuhatus.pdf) (17.04.2017)
29. Advanced Mechanical Engineering Solutions. [on-line]  
<http://www.amesweb.info/Screws/LeadScrewCalculationsAcmeThreads.aspx> (18.04.2017)
30. Trapezoidal thread according to DIN. [on-line]  
<http://www.bornemann-gewindetechnik.de/wordpress/wp-content/uploads/2016/04/Trapezoidal-thread-EN.pdf> (18.04.2017)
31. Aliexpress – Alibaba Group. Komponendid [on-line]  
<https://www.aliexpress.com> (19.04.2017)
32. Stepper Motor Nema 17. Samm-mootori p/min [on-line]  
<http://www.pbcllinear.com/Download/DataSheet/Stepper-Motor-Support-Document.pdf> (19.04.2017)

33. Stepper online. Kontroller [on-line]  
<http://www.omc-stepperonline.com/5-axis-cnc-breakout-board-interface-for-stepper-motor-driver-stv2-p-197.html> (20.04.2017)
34. Stepper online. Draiver [on-line]  
<http://www.omc-stepperonline.com/bipolar-stepper-motor-driver-max-4a-current-40vdc-input-16-subdivision-st6600-p-246.html> (20.04.2017)
35. Aliexpress – Alibaba Group. Kontroller 2 [on-line]  
<https://www.aliexpress.com/item/GRBL-mini-laser-engraving-machine-laser-CNC-Dashboard-control-board-USB-CNC-3-axis-stepper-motor/32714692670.html?spm=2114.13010608.0.0.S6jhG2> (26.04.2017)
36. Stepper online. Toiteplokki [on-line]  
<http://www.omc-stepperonline.com/switching-power-supply-250w-24v-10a-for-cnc-router-kits-115v230v-s25024-p-386.html> (21.04.2017)
37. E. Brindfeldt, V. Rottenberg, U. Lepiksoo. (2014). Mehhatroonika komponendid. [on-line]  
[https://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ah\\_UKEwj4rPz49rfTAhXkdpoKHXF5CCgQFgg\\_MAY&url=http%3A%2F%2Fwww.digar.ee%2Farhiiv%2Fru%2Fdownload%2F114996&usg=AFQjCNG68zi8V7QtxHdWtf3eTpYuTIfyVg](https://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=7&ved=0ah_UKEwj4rPz49rfTAhXkdpoKHXF5CCgQFgg_MAY&url=http%3A%2F%2Fwww.digar.ee%2Farhiiv%2Fru%2Fdownload%2F114996&usg=AFQjCNG68zi8V7QtxHdWtf3eTpYuTIfyVg) (22.04.2017)
38. K-rauta. DREMEL 3000 [on-line]  
<https://www.k-rauta.ee> (24.04.2017)
39. Mach3. Tarkvara [on-line]  
<http://www.machsupport.com/software/mach3/> (24.04.2017)
40. Inkscape. Tarkvara [on-line]  
<https://inkscape.org/en/> (25.04.2017)
41. Grbl. Tarkvara [on-line]  
<https://github.com/grbl/grbl/wiki> (25.04.2017)
42. Isetegija. Elektroonika ja mehaanika [on-line]  
<http://isetegija.ee> (29.04.2017)
43. Lemona electronics. Elektroonika komponendid [on-line]  
[https://www.lemona.ee/?page=item&i\\_id=130871](https://www.lemona.ee/?page=item&i_id=130871) (29.04.2017)
44. Oomipood. Elektroonika komponendid [on-line]  
<https://www.oomipood.ee/> (29.04.2017)

- 45.** ITT GROUP. Elektroonika ja mehaanika. [on-line]  
<http://www.ittgroup.ee/et/draiverid/781-samm-mootori-draiver-20-khz-tb6600.html>  
(29.04.2017)
- 46.** Hammerjack. Ehituspood, kruvid [on-line]  
<http://www.hammerjack.eu/est/kollane-tsink-1> (29.04.2017)
- 47.** Bauhof. Ehituspood [on-line]  
<http://www.bauhof.ee> (29.04.2017)
- 48.** Tevokaup. Ehituspood [on-line]  
<http://www.tevokaup.ee/toode/filmivineer-veekindel/> (29.04.2017)

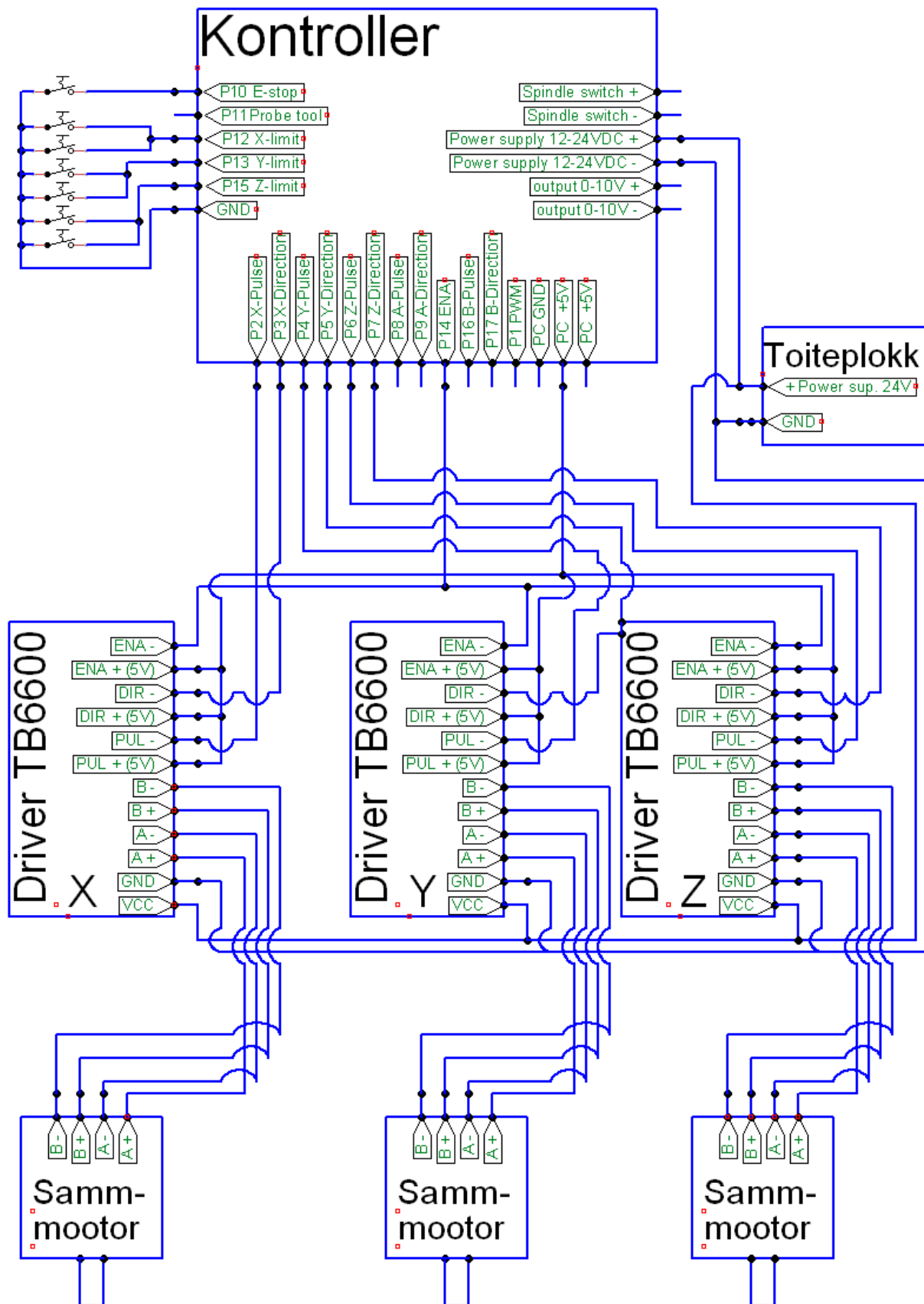
## SUMMARY

During this bachelor's thesis the 3-axis CNC wood-milling machine was built. The machine's size and mass are ergonomic, which would simplified the transport and placement of the machine, but at the same time it would be able to mill the most known trees in Estonia. If needed, it can also mill softer plastic and metal. While designing the frame, availability of different components and materials was taken into account. The criteria was that the machine's final price must be less than 350 euros, which would make it the most competitive on the market. Technical drawings were created out of the control system corpus and –axis CNC wood-milling machine and electrical scheme out electronics

While designing the frame there were two options – either to build it with aluminium (5083) or waterproof film faced plywood FW. The latter waterproof film faced plywood FW was chosen because it had better price and qualities. Appropriate bending load calculations in working points were made for finding a suitable linear guide bar spindles and the torque calculations for stepping motor. Most of the components were imported from foreign countries (China, Latvia) because of the price advantage. A suitable electronics and user-friendly control software were chosen. The 3-axis CNC wood-milling machine has dimensions of 515x530x430 mm (length, height, width). With components it weighs total of 8,7 kilograms. Effective work area is 220x330x112 mm (X,Y,Z) and the speed of the maximum positioning is 4000 mm/min. The 3-axis CNC wood-milling machine has open bench (desktop) which means that it can also work with longer details. It is recommended to use blanks with a maximum weight of 5 kg. Working points accuracy is 0,04 mm, that can be considered as a satisfactory result, because it is possible to regulate micro-steps in different degrees and this helps to lift the precision even more. Manufacturing cost for the the 3-axis CNC wood-milling machine was in total 259,35 euros. This includes and that also contains the price for control corpus. The result is satisfactory because the price remained within the proposed budget. During the next tests the frame's structure can be changed which would lower the need for extra components. For example the linear guide bar spindle support mechanism can be removed.

**LISAD**

**Lisa A. Elektriskeem**



Teostas Eero Tiisler

Kontrollis Janar Kalder

Kinnitas Janar Kalder

Nimetus:

*Elektriskeem*

EMÜ TS-TN

Leht:

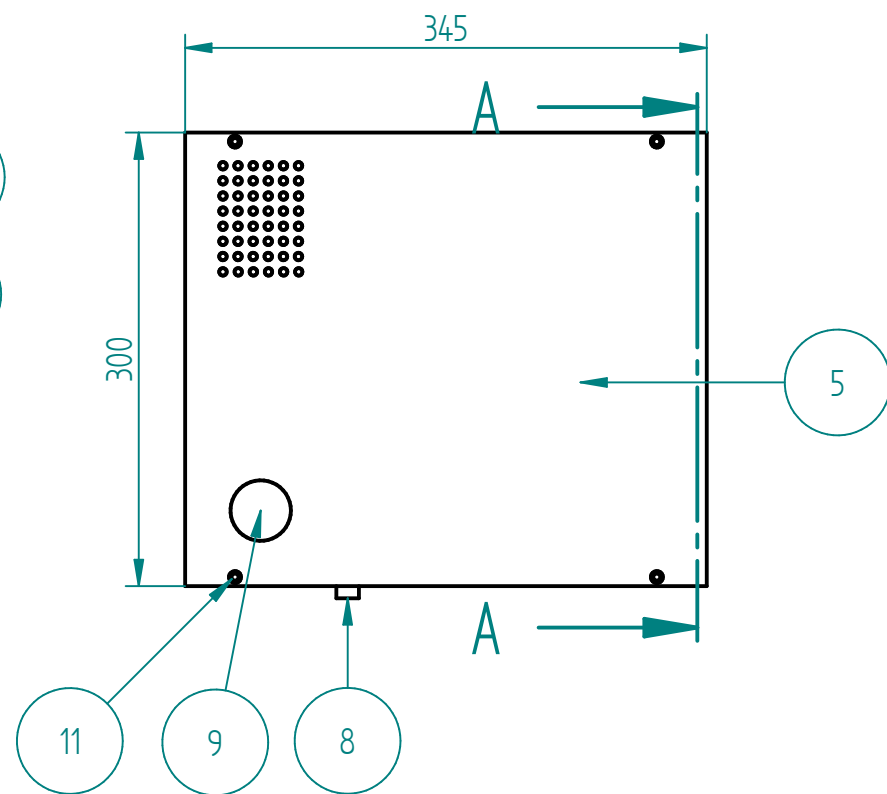
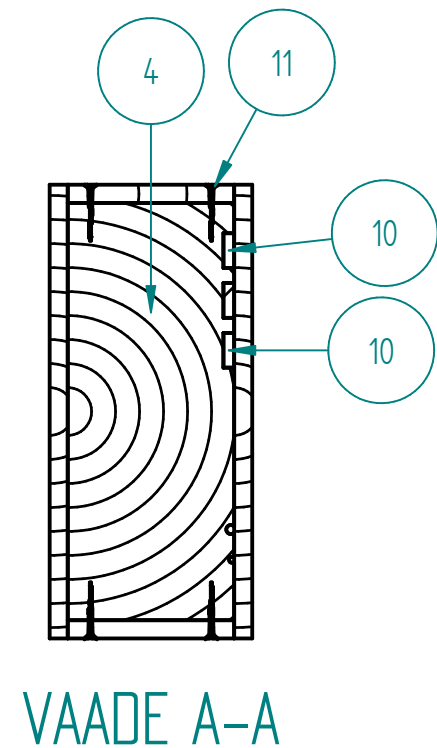
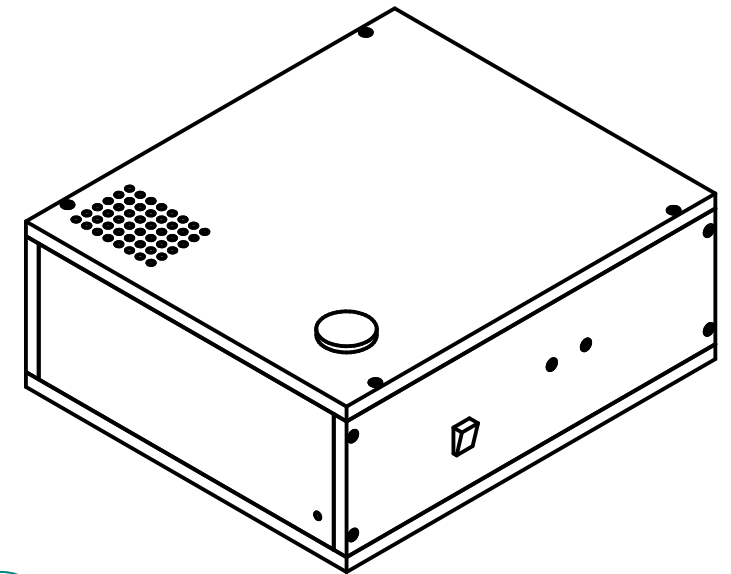
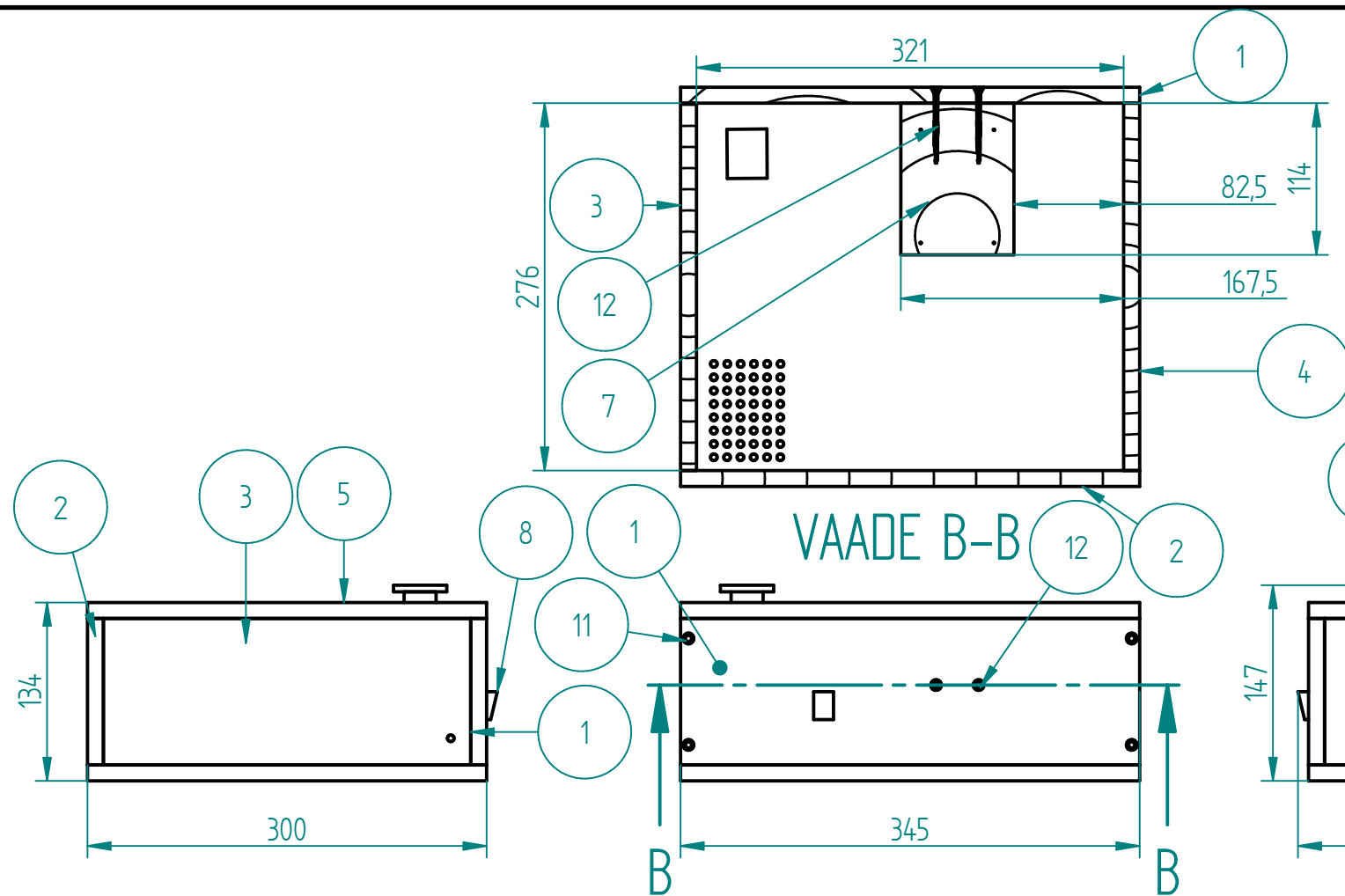
1

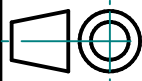
Tähis:

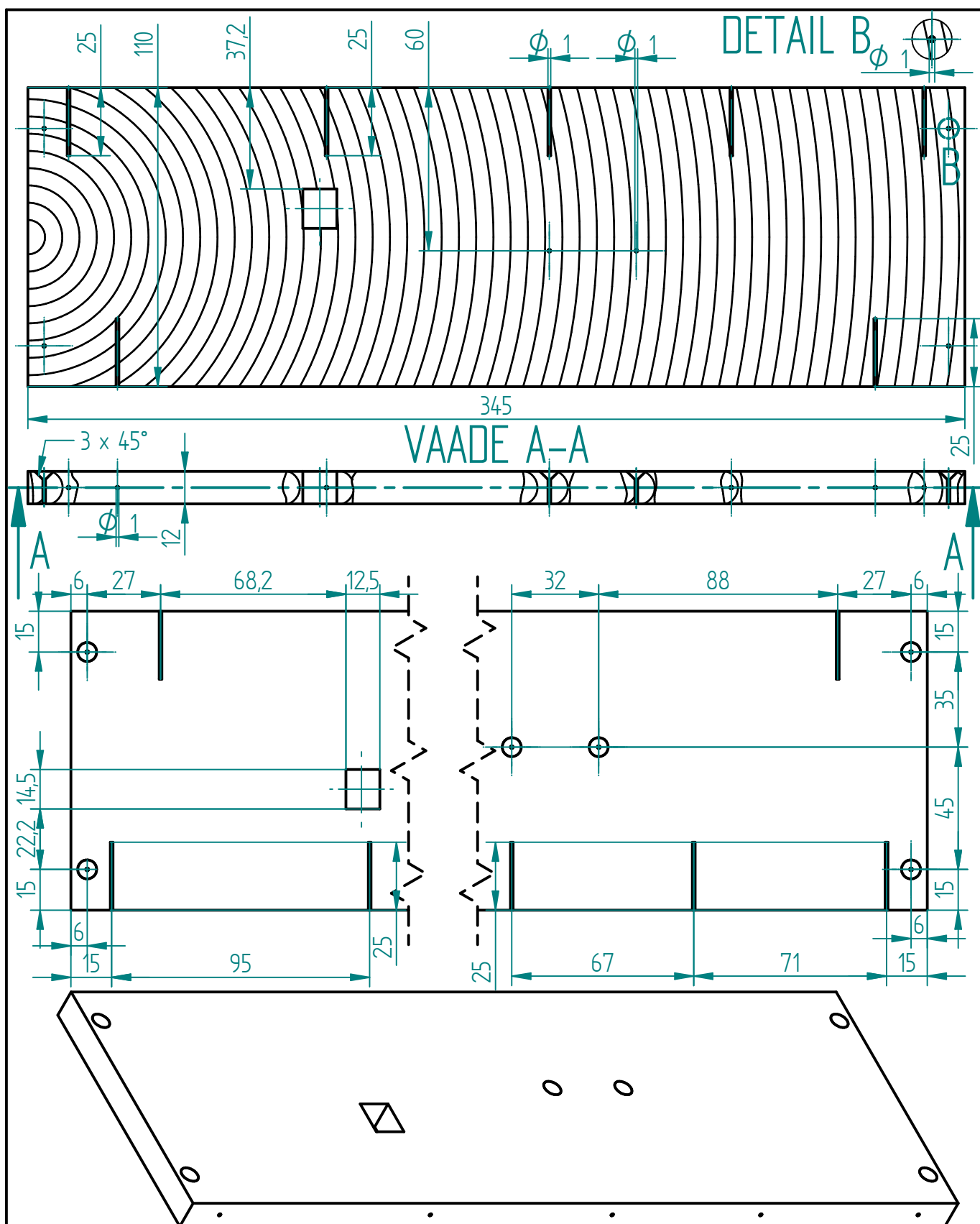
TN 17/100367 A 01 00 S

## **Lisa B. Juhtimissüsteemi korpuse tehnilised joonised**

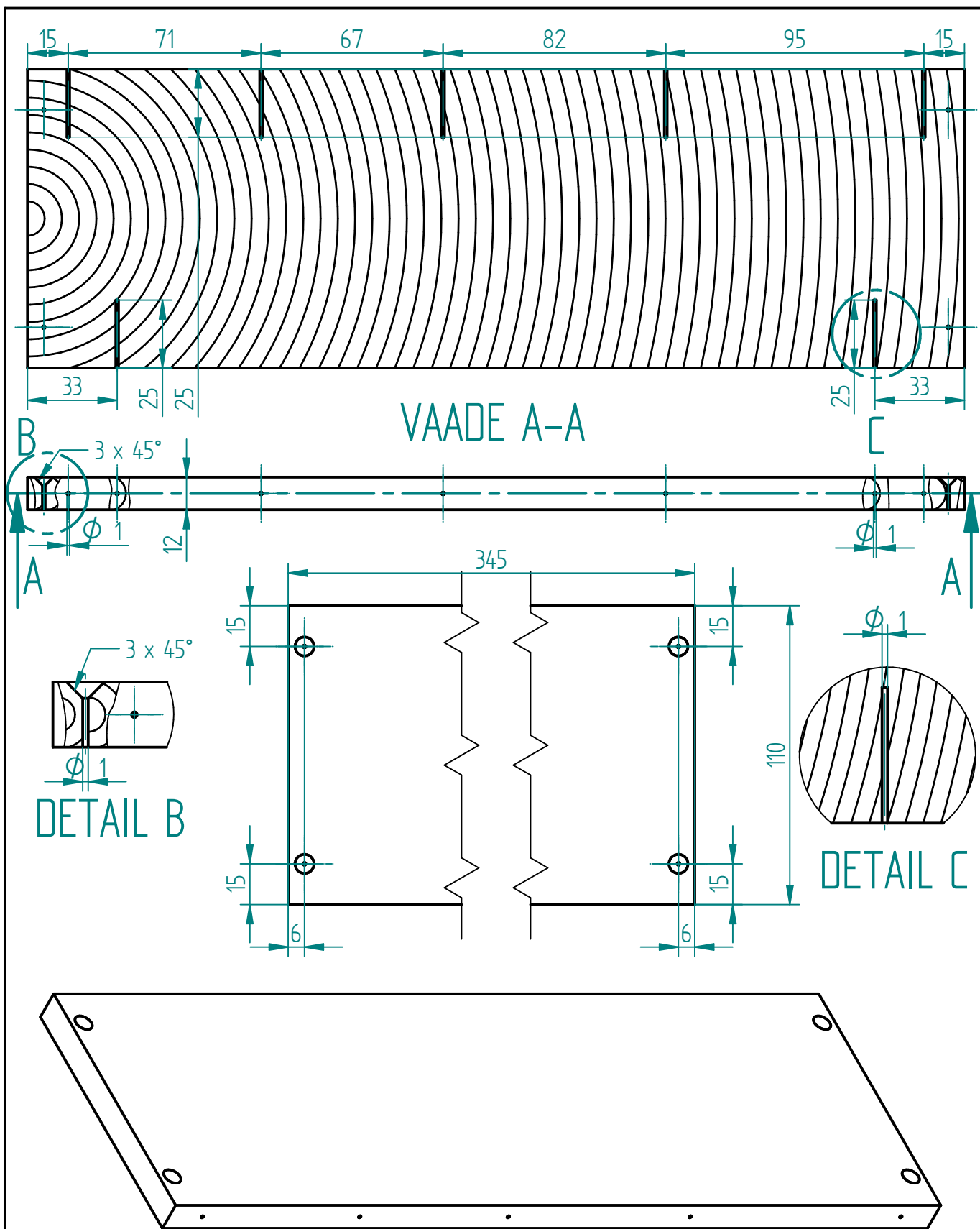




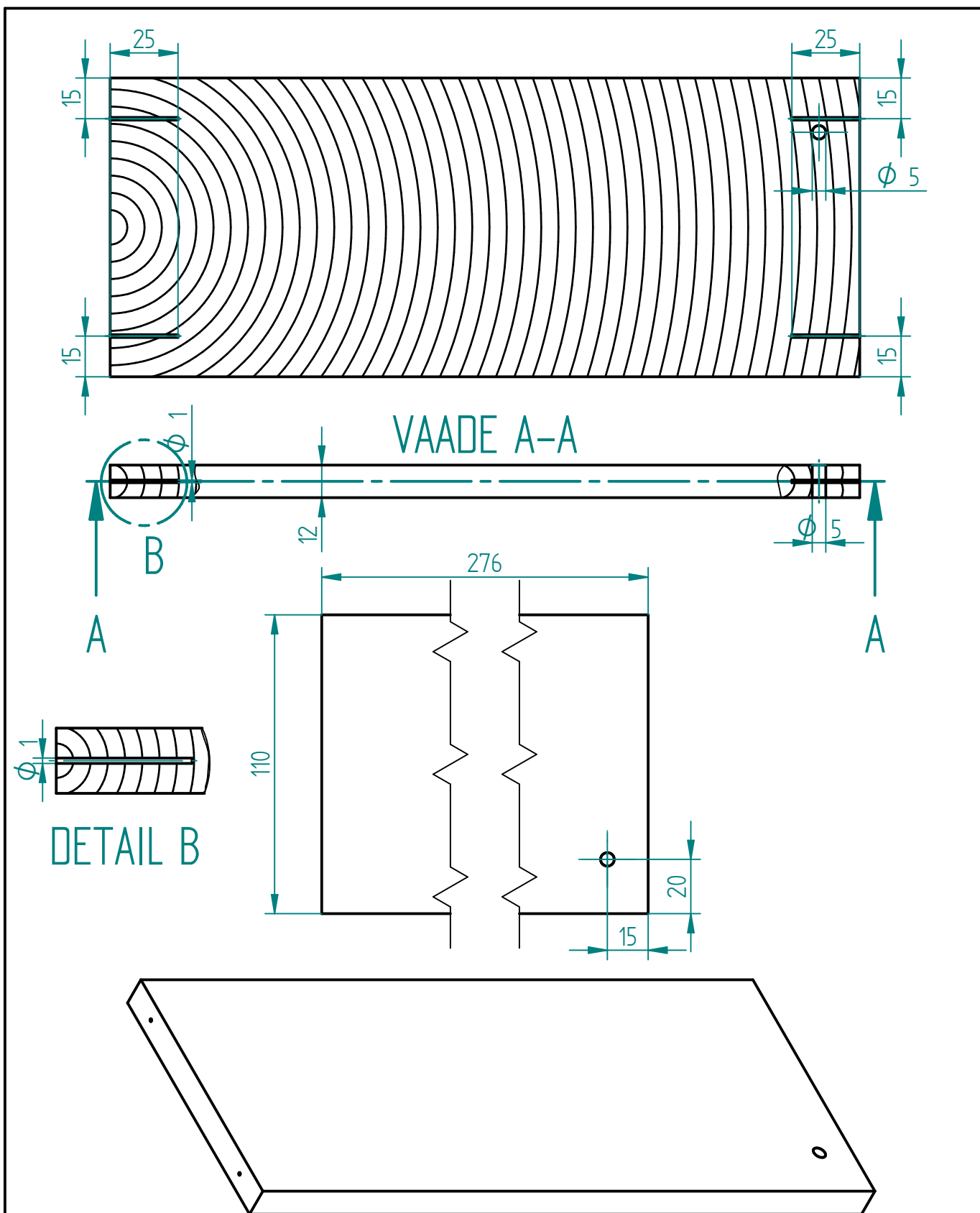
12		Peitpeakruvi 4,5×55 Zn		2	
11		Peitpeakruvi 4×35 Zn		22	
10		Pistiku terminalplokk		3	
9		Stop lüliti		1	
8		Lüliti		1	
7		Kontrolleri alusplaat	TN 17/100367 B 01 07 D	1	
6		Plaat 6	TN 17/100367 B 01 06 D	1	
5		Plaat 5	TN 17/100367 B 01 05 D	1	
4		Plaat 4	TN 17/100367 B 01 04 D	1	
3		Plaat 3	TN 17/100367 B 01 03 D	1	
2		Plaat 2	TN 17/100367 B 01 02 D	1	
1		Plaat 1	TN 17/100367 B 01 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 3,3 kg	Mööd: 15
Teostas	Eero Tiisler		Juhtimissüsteemi korpus		
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN			Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 B 01 00 K	



	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,340 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Plaat 1		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 B 01 01 D	

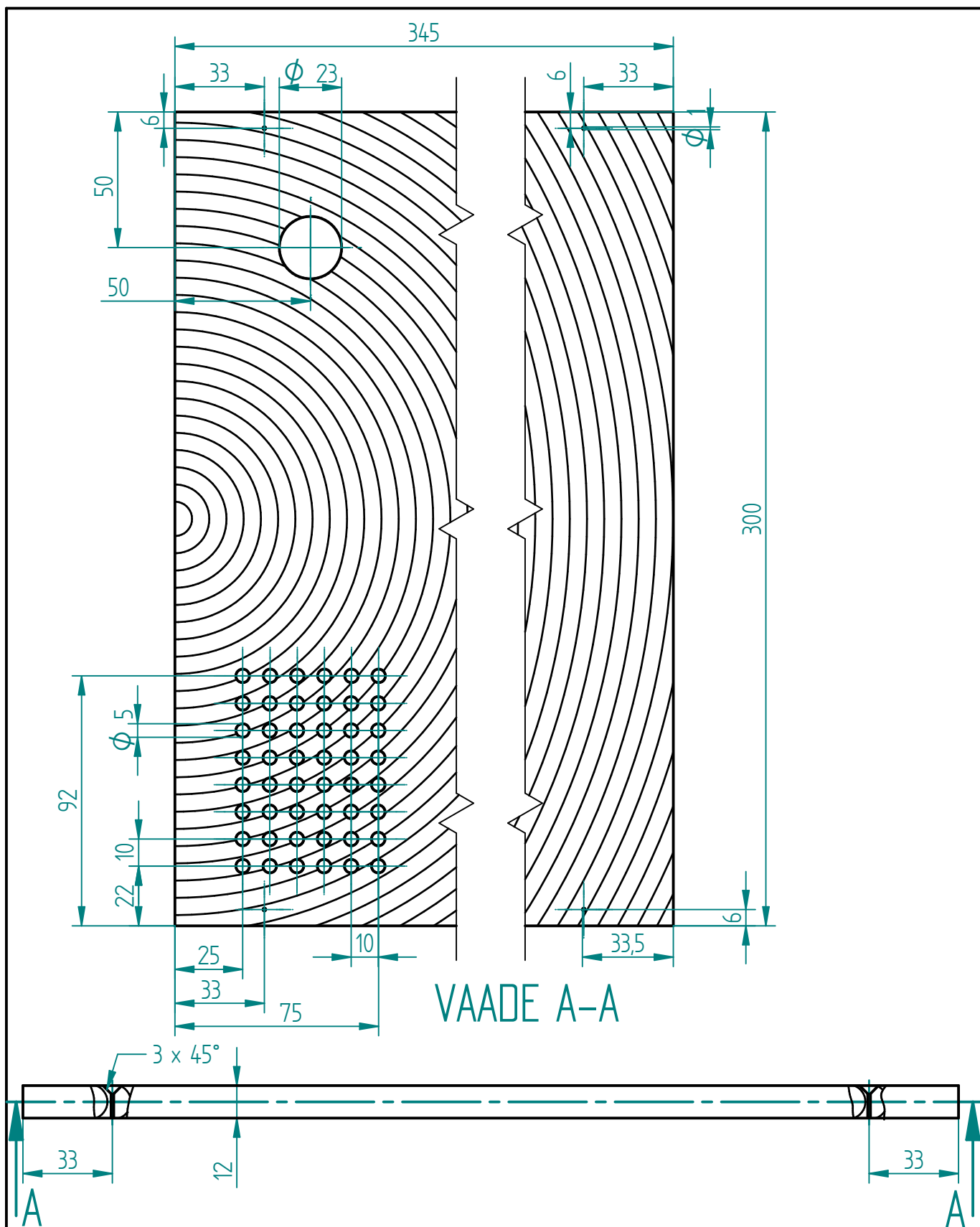


	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,341 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  <div data-bbox="1018 1957 1225 2024" data-label="Text"> Plaat 2 </div>		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 B 01 02 D	

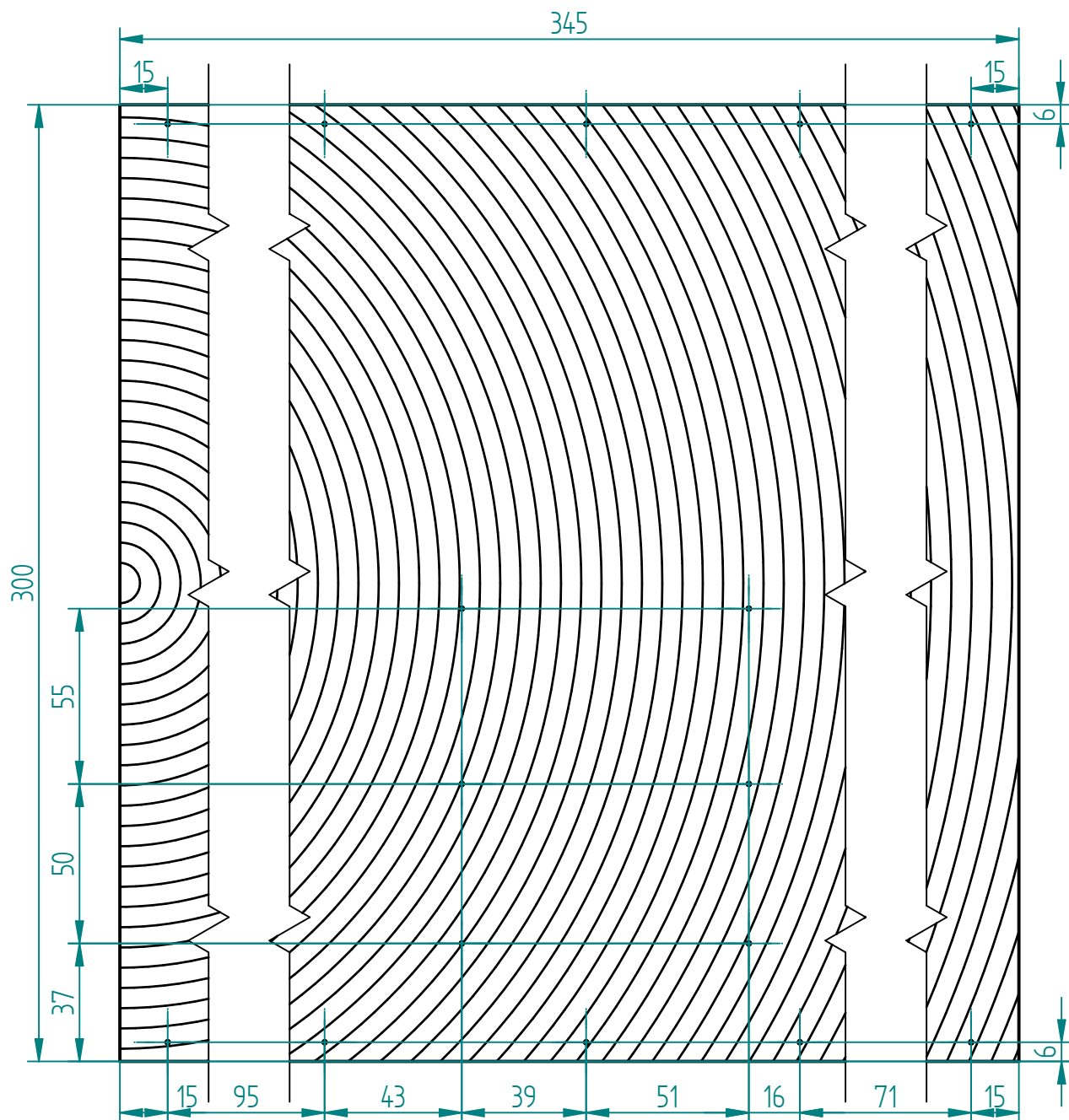


	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,273 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Plaat 3		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 B 01 03 D	

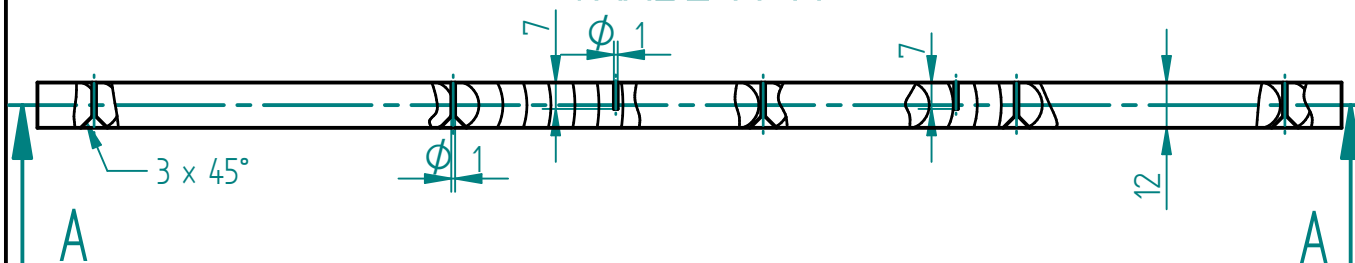




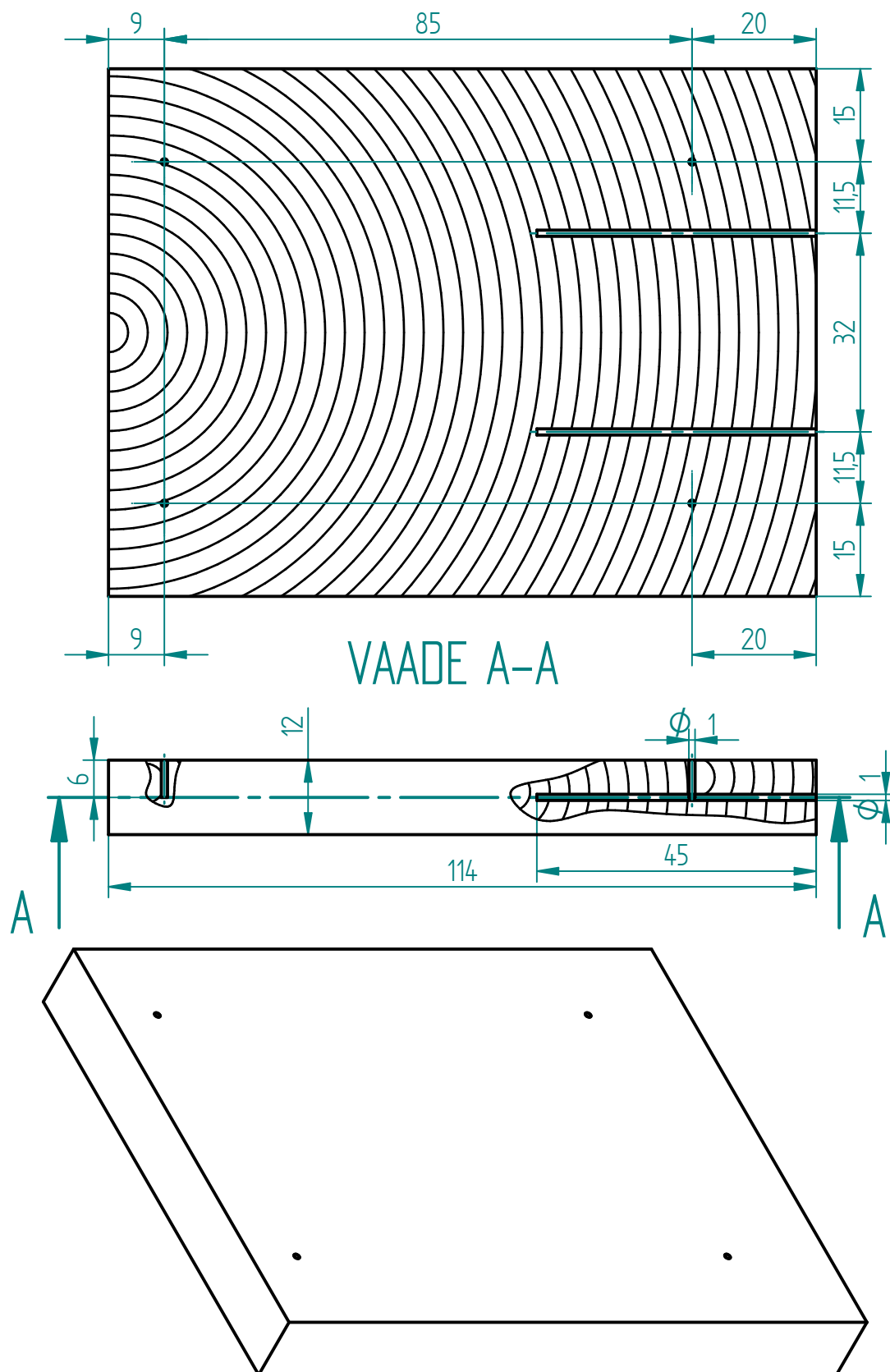
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,919 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Plaat 5		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 B 01 05 D	



VAADE A-A



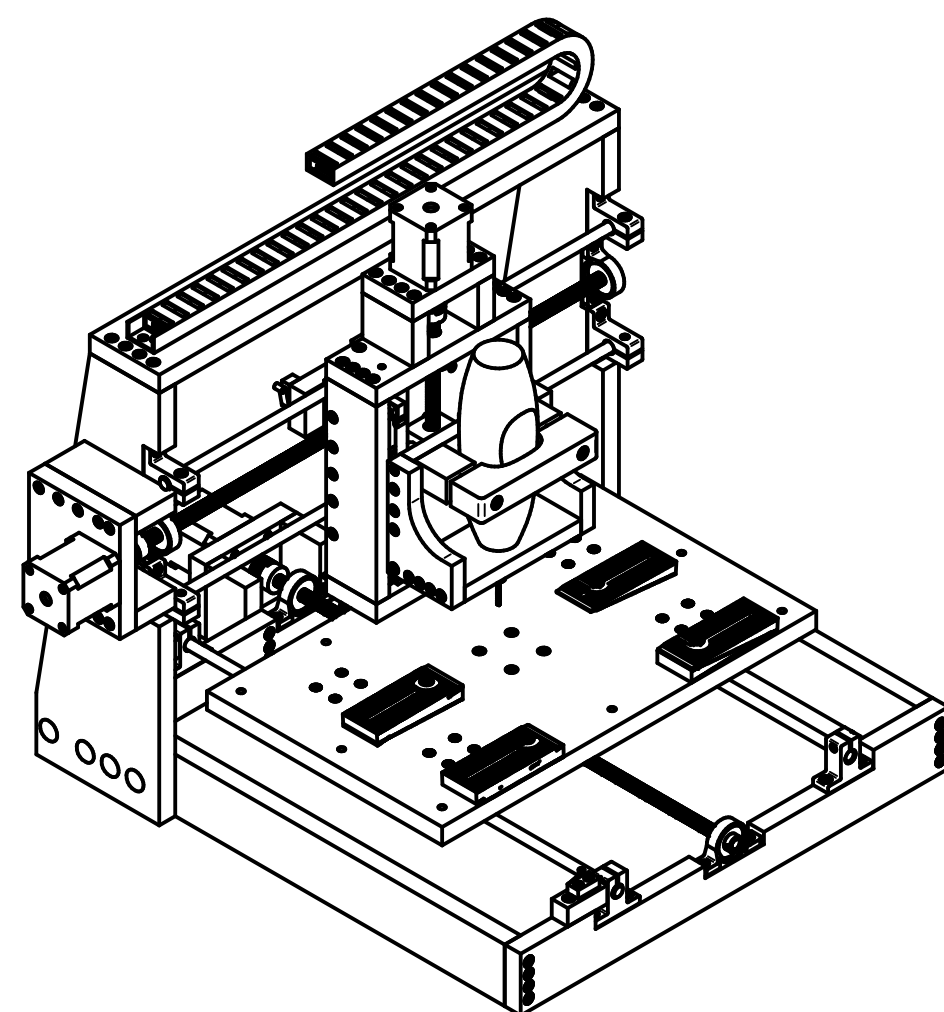
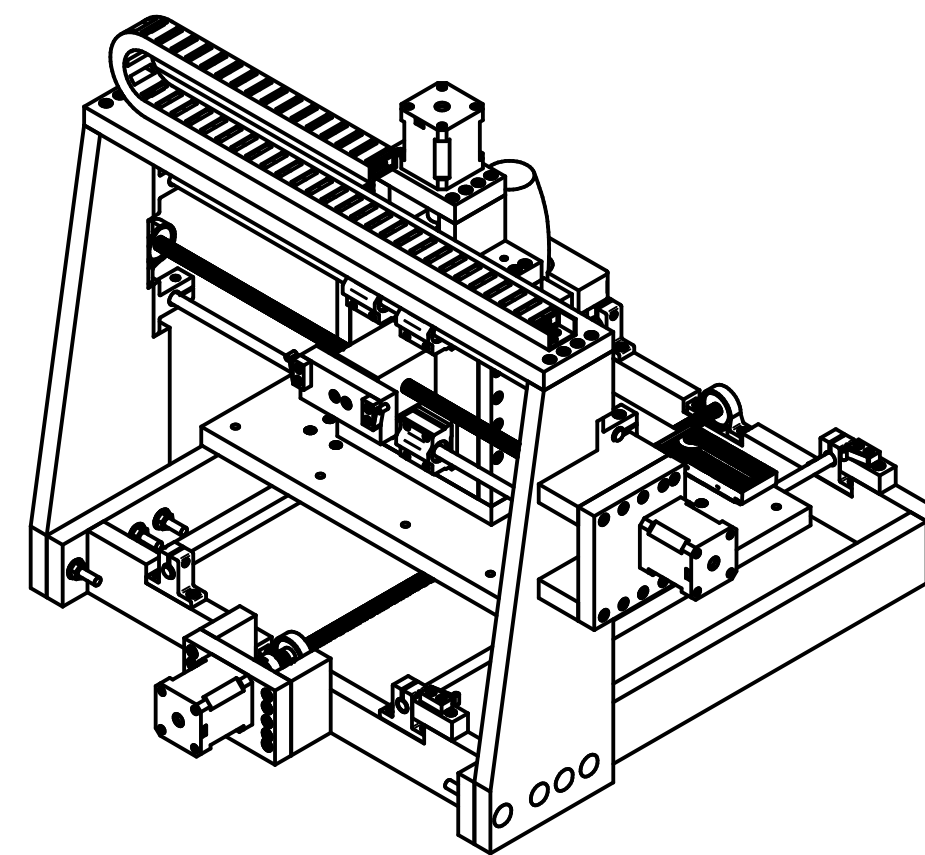
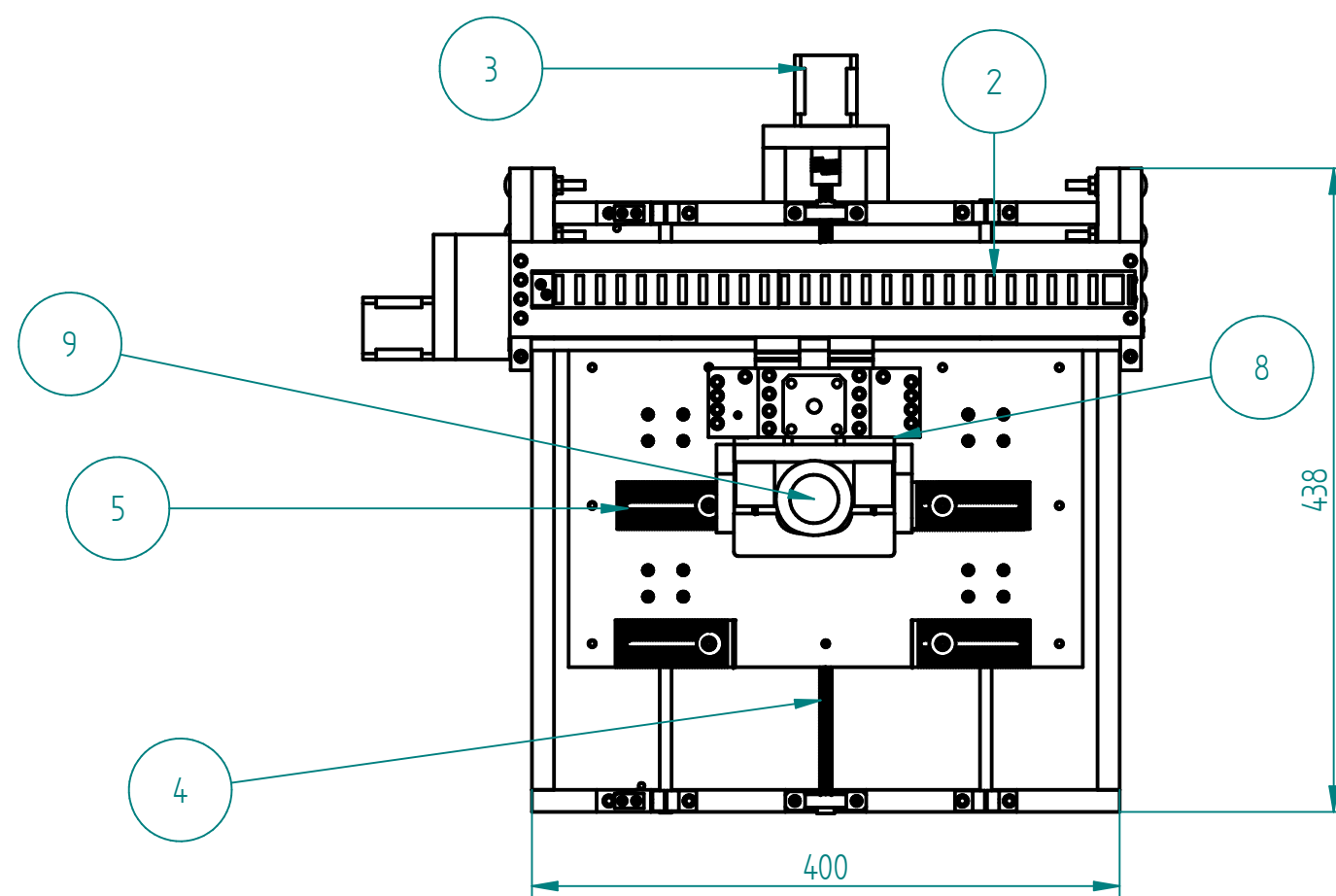
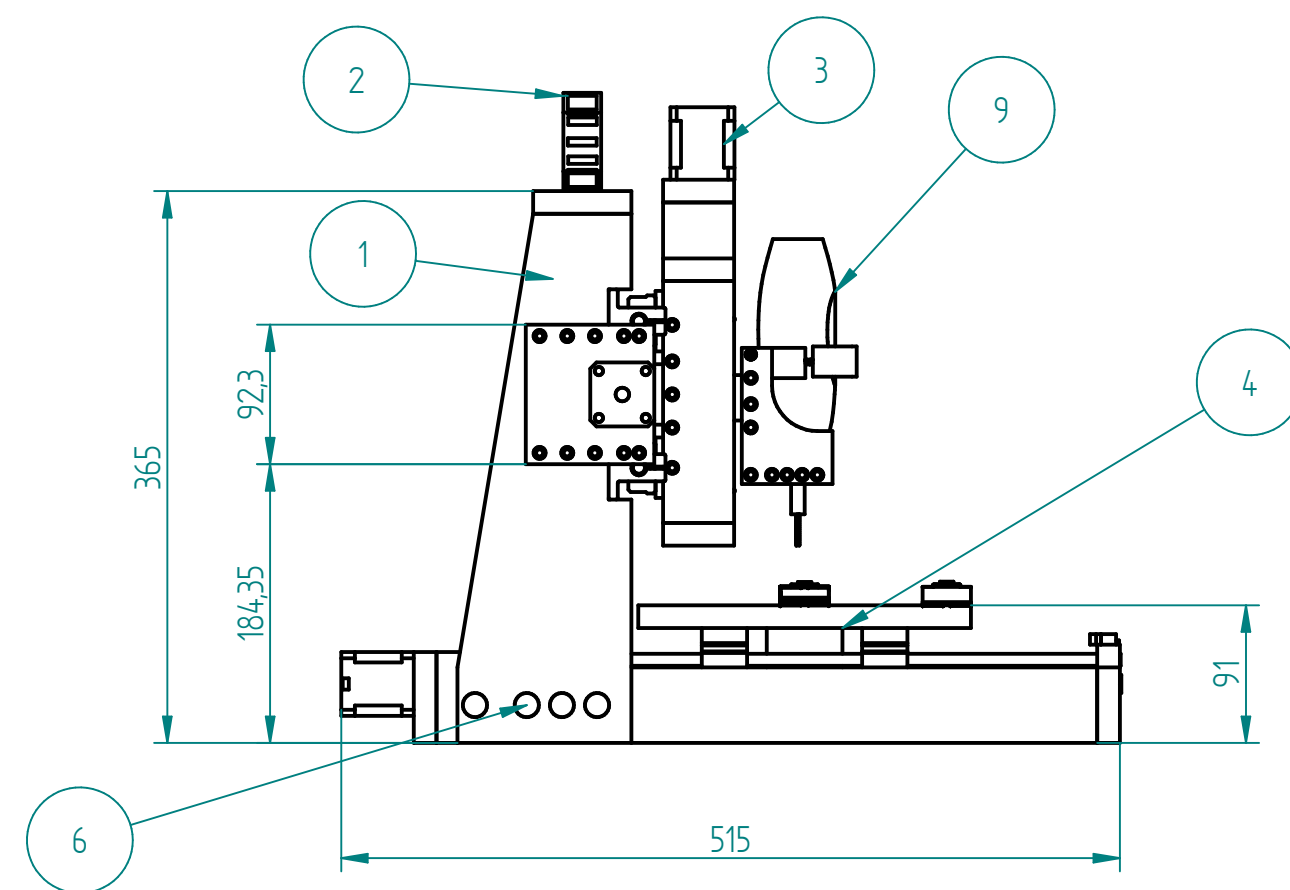
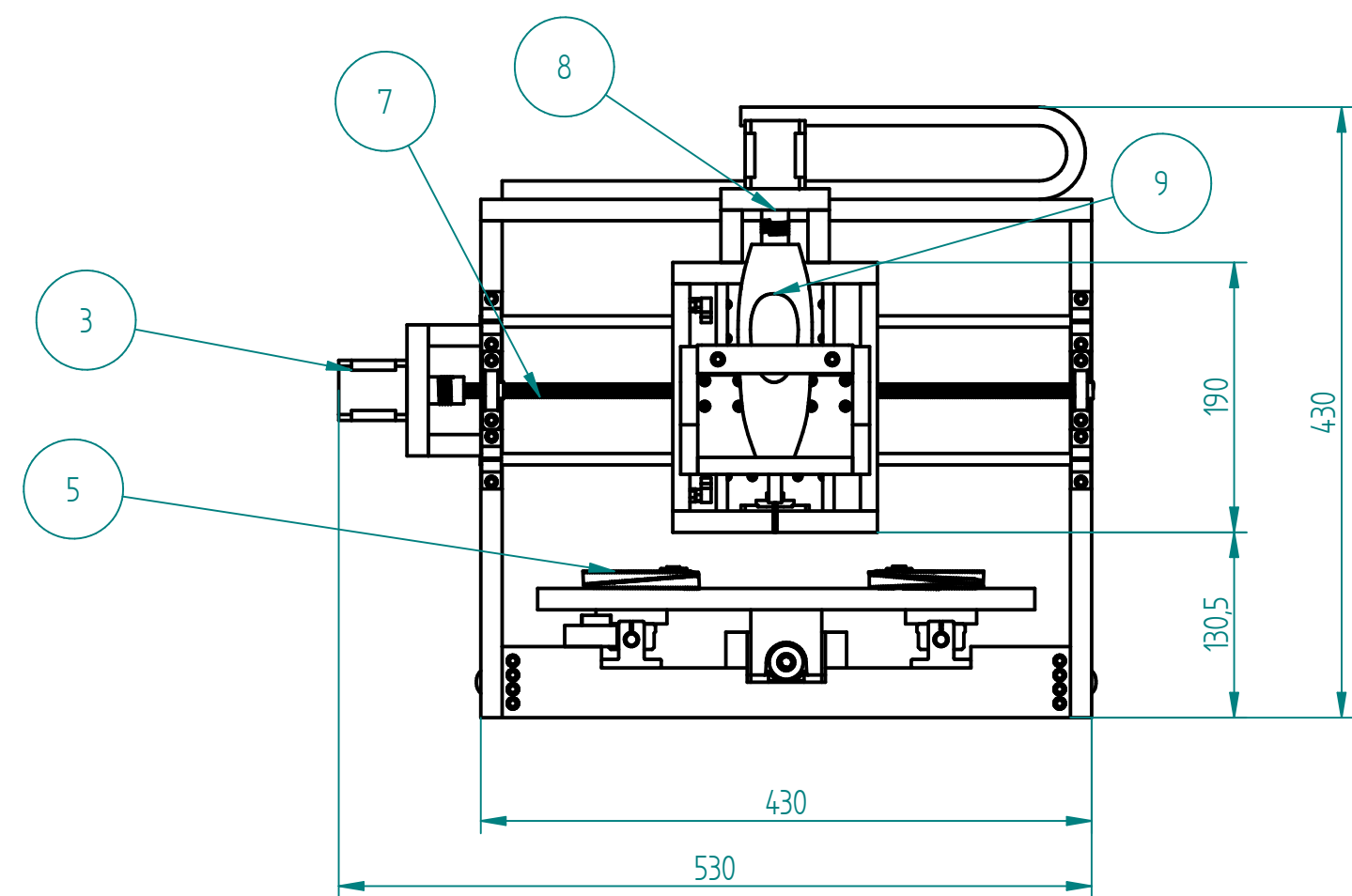
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,931 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Plaat 6		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 B 01 06 D	

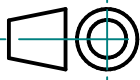


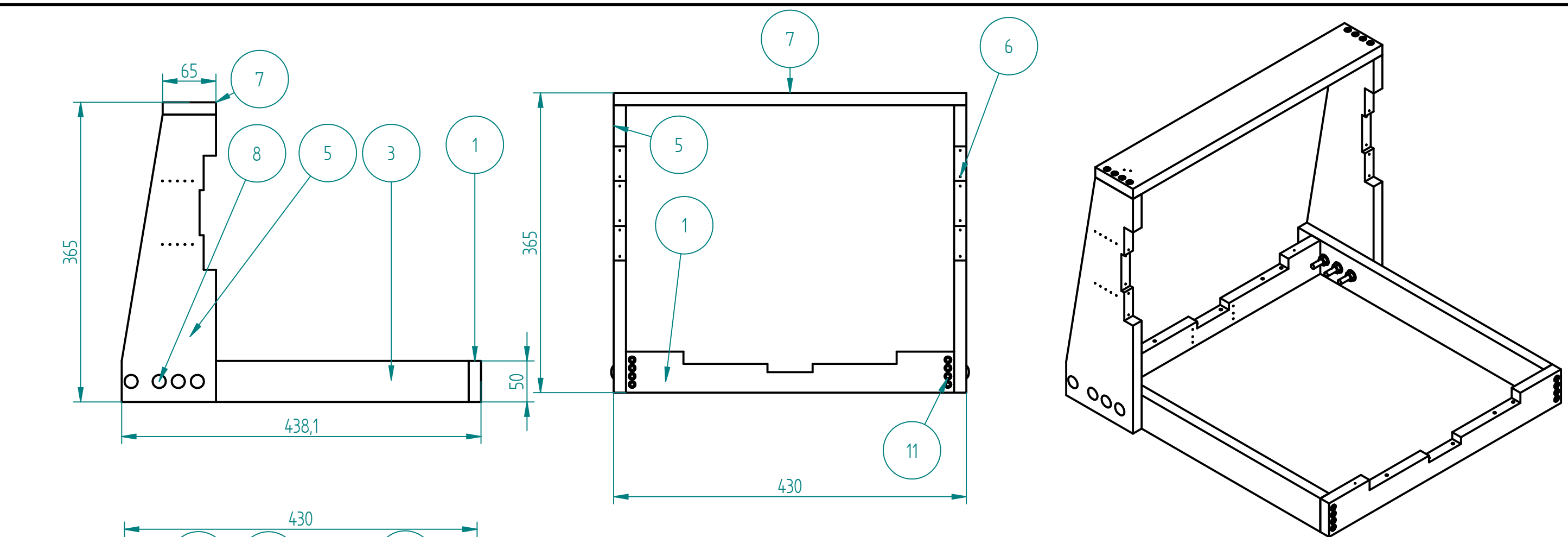
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,087 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Kontrolleri alusplaat		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 B 01 07 D	



## **Lisa C. 3-teljelise CNC puidufreespingi tehnilised joonised**



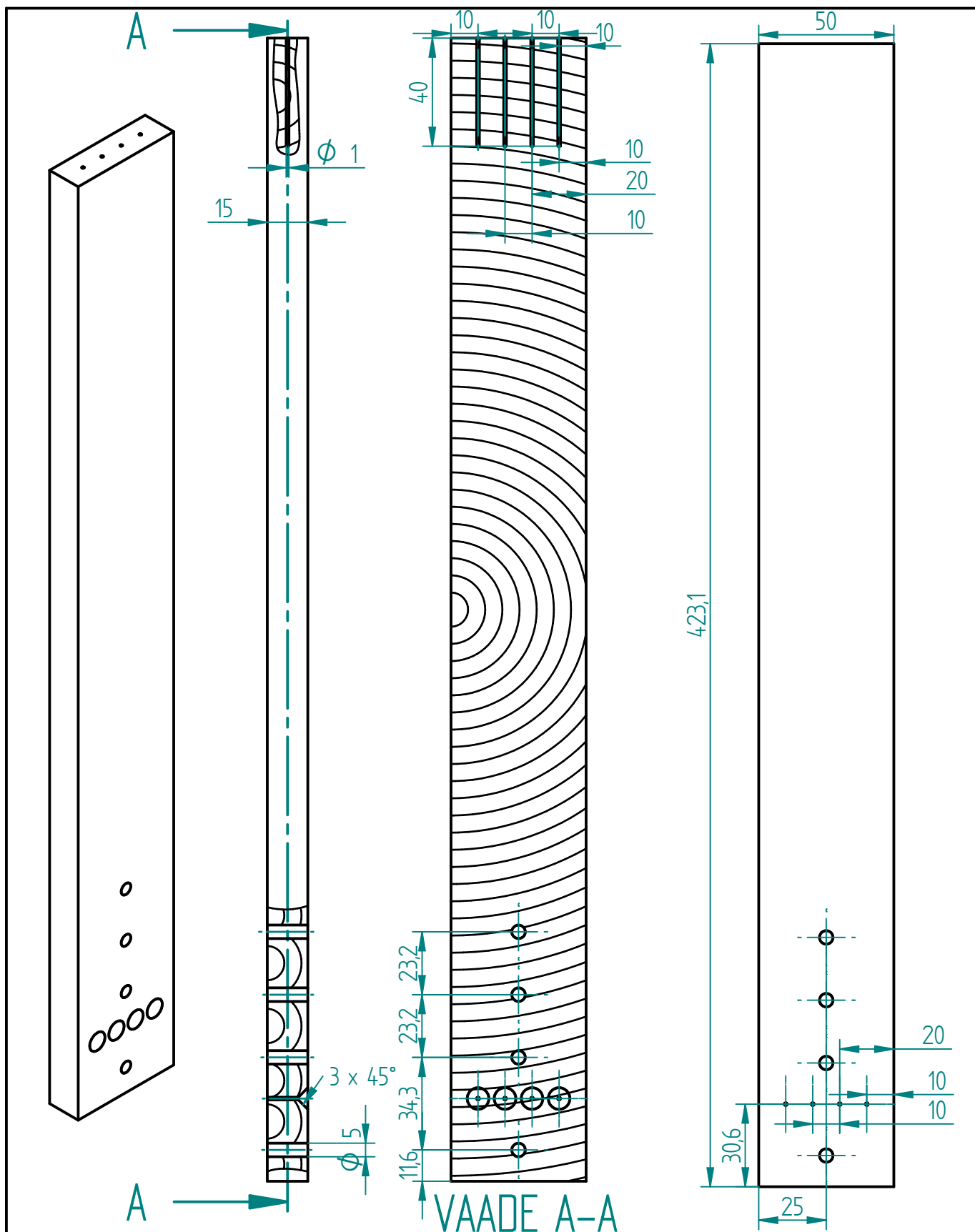
9		Frees Dremel 3000		1	
8		Z-telje töösõlme koost	TN 17/100367 C 05 00 K	1	
7		Y-telje töösõlme koost	TN 17/100367 C 04 00 K	1	
6		Mööblipolt DIN 603 M6×50ZN		8	
5		Kiil		8	
4		X-telje töösõlme koost	TN 17/100367 C 03 00 K	1	
3		Samm-mootor Nema 17		3	
2		Energiakett		1	
1		Raamkonstruktsiooni koost	TN 17/100367 C 02 00 K	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 7,5 kg	Mööd: 15
Teostas	Eero Tiisler		Nimetus:  3-teljeline CNC freespink		
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN			Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 01 00 K	



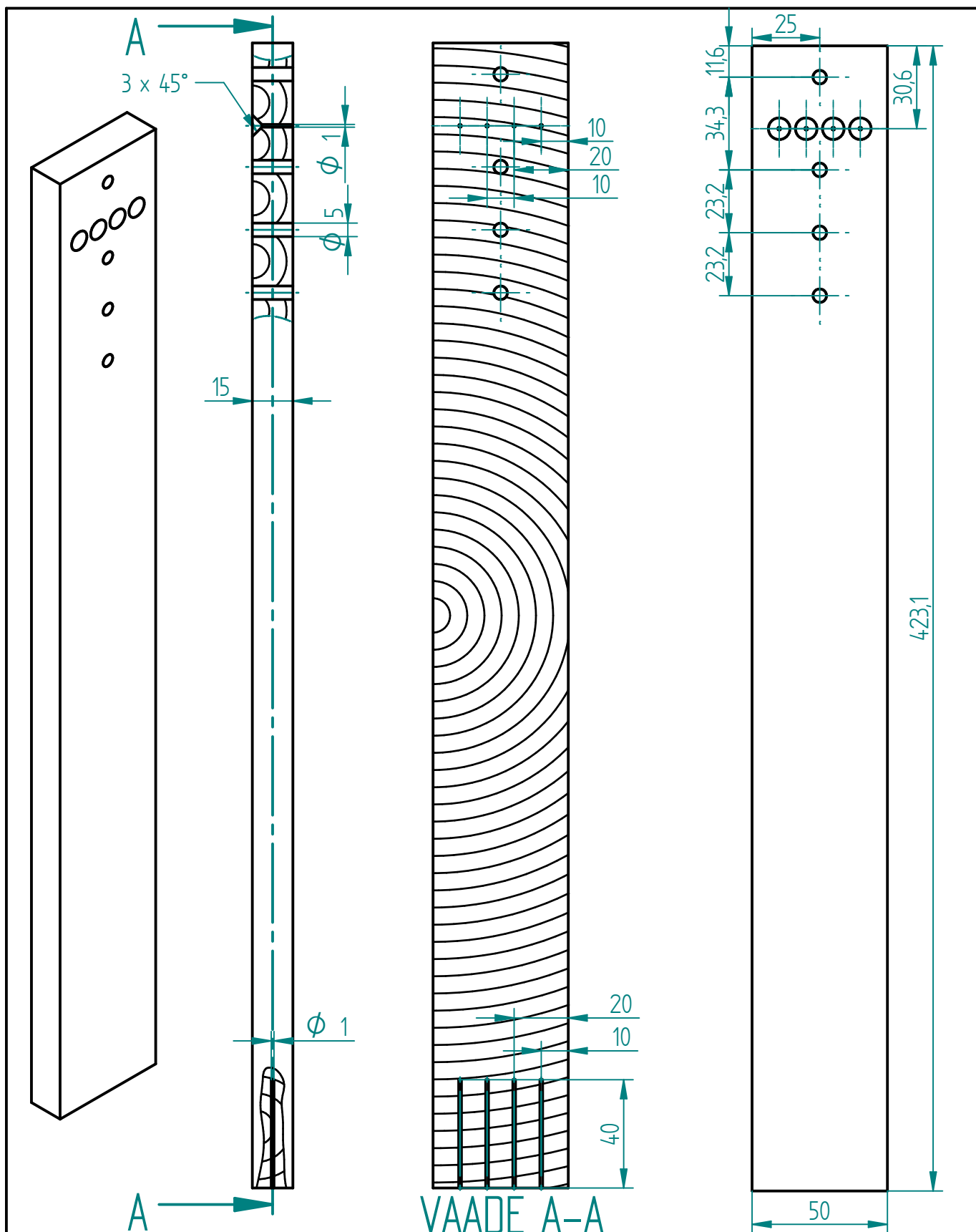
11		Peitpeakruvi 4,5×55 Zn		16	
10		Mutter DIN 934 M6		8	
9		Seib DIN 9021 06/18/1,6		8	
8		Mööblipolt DIN 603 M6x50 Zn		8	
7		Raamkonstruktsiooni pealmine tala	TN 17/100367 C 02 07 D	1	
6		Raamkonstruktsiooni külg 2	TN 17/100367 C 02 06 D	1	
5		Raamkonstruktsiooni külg 1	TN 17/100367 C 02 05 D	1	
4		Alusraami tala 4	TN 17/100367 C 02 04 D	1	
3		Alusraami tala 3	TN 17/100367 C 02 03 D	1	
2		Alusraami tala 2	TN 17/100367 C 02 02 D	1	
1		Alusraami tala 1	TN 17/100367 C 02 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 1,98 kg	Mööd: 1,5
Teostas	Eero Tiisler		Raamkonstruktsiooni koost		
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN			Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 02 00 K	



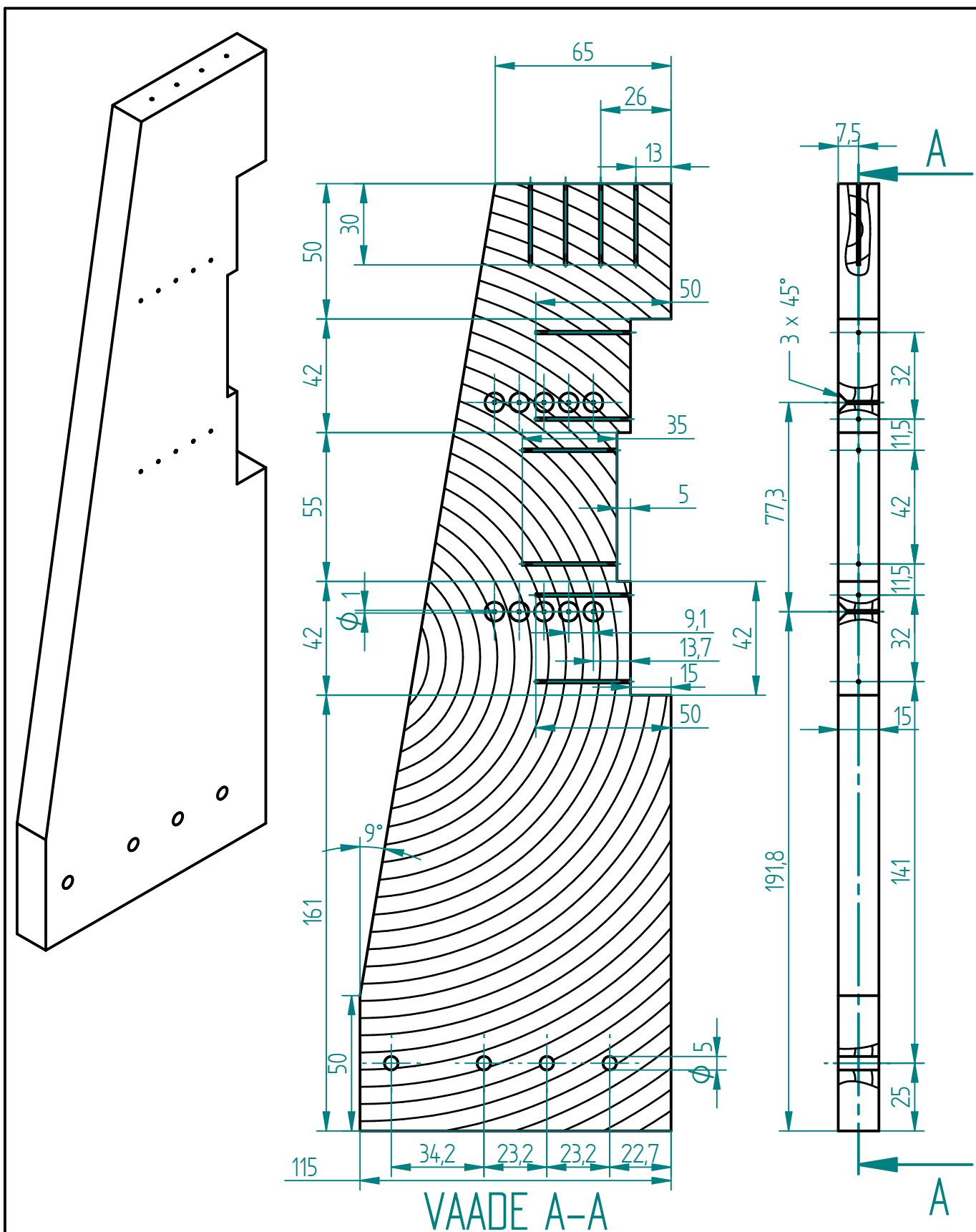




	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,237 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Alusraami tala 3		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 02 03 D	

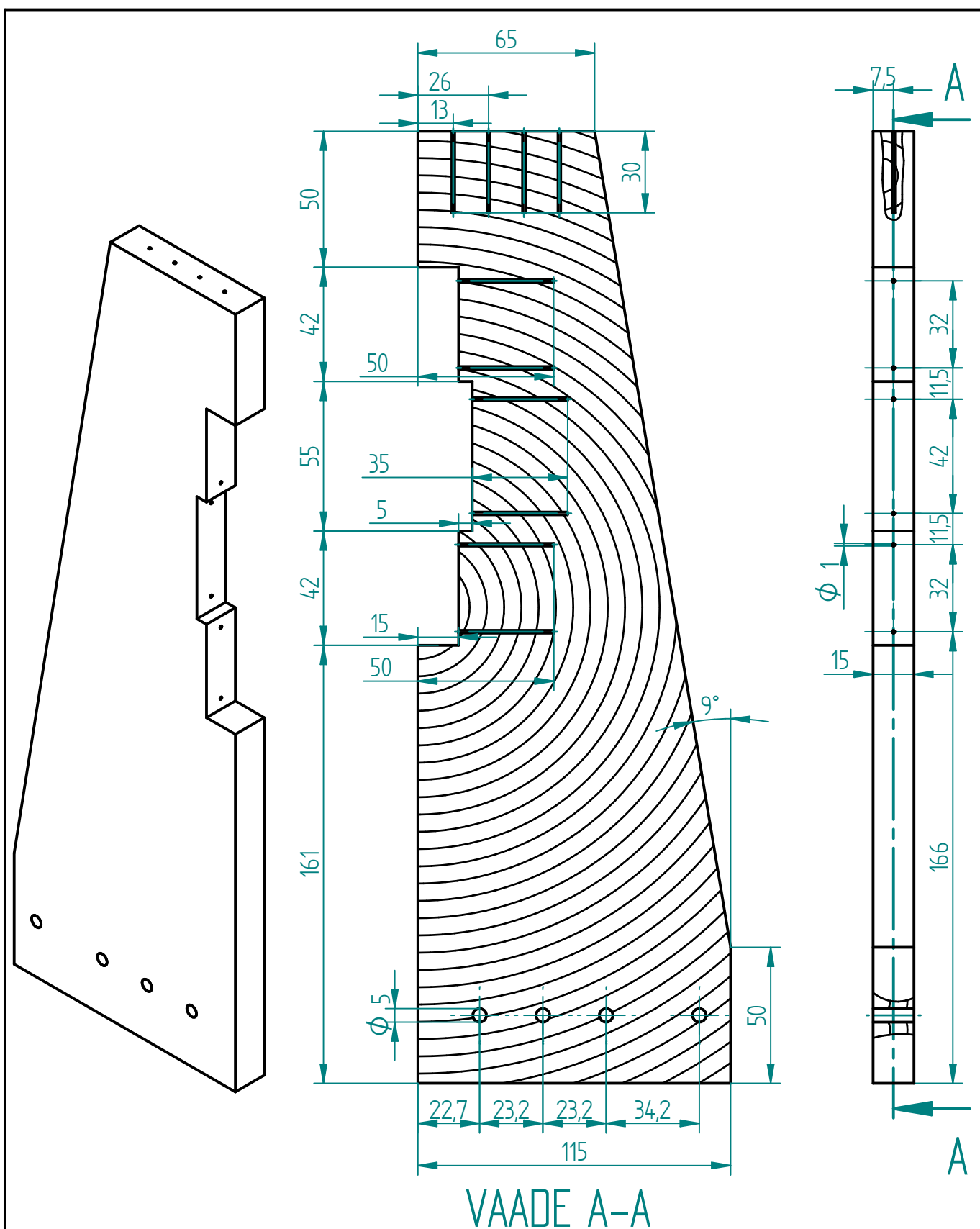


	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,237 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Alusraami tala 4		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 C 02 04 D	

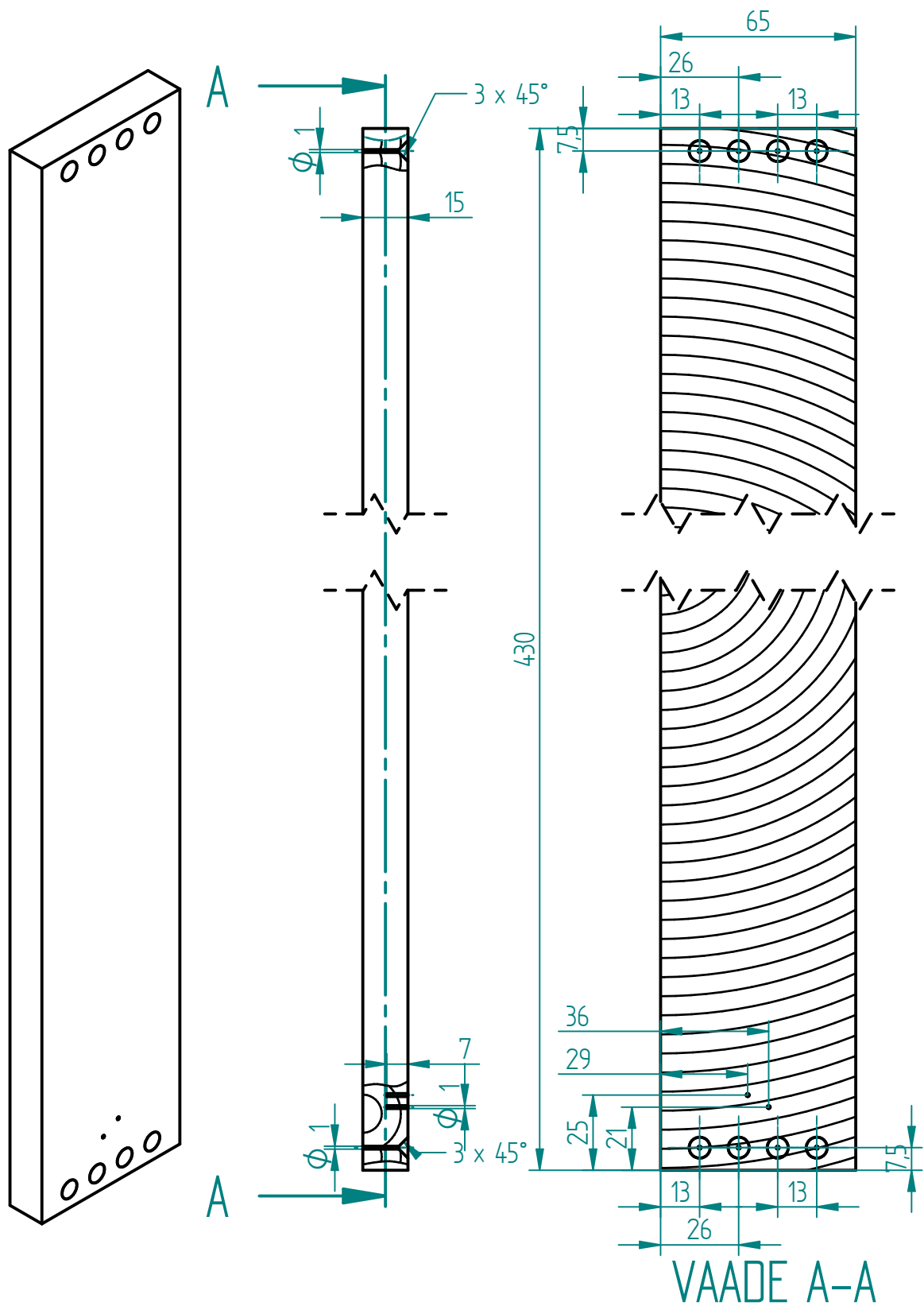


	<b>Materjal:</b> Niiskuskindel filmivineer FW	<b>Näitamata piirhálbed:</b> ISO 2768	<b>Mass:</b> 0,237 kg	<b>Mööd:</b> 1:2
<b>Teostas</b>	Eero Tiisler	<b>Nimetus:</b> Raamkonstruktsiooni külg 1		
<b>Kontrollis</b>	Janar Kalder			
<b>Kinnitas</b>	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		<b>Leht:</b> 1	<b>Tähis:</b> TN 17/100367 C 02 05 D	

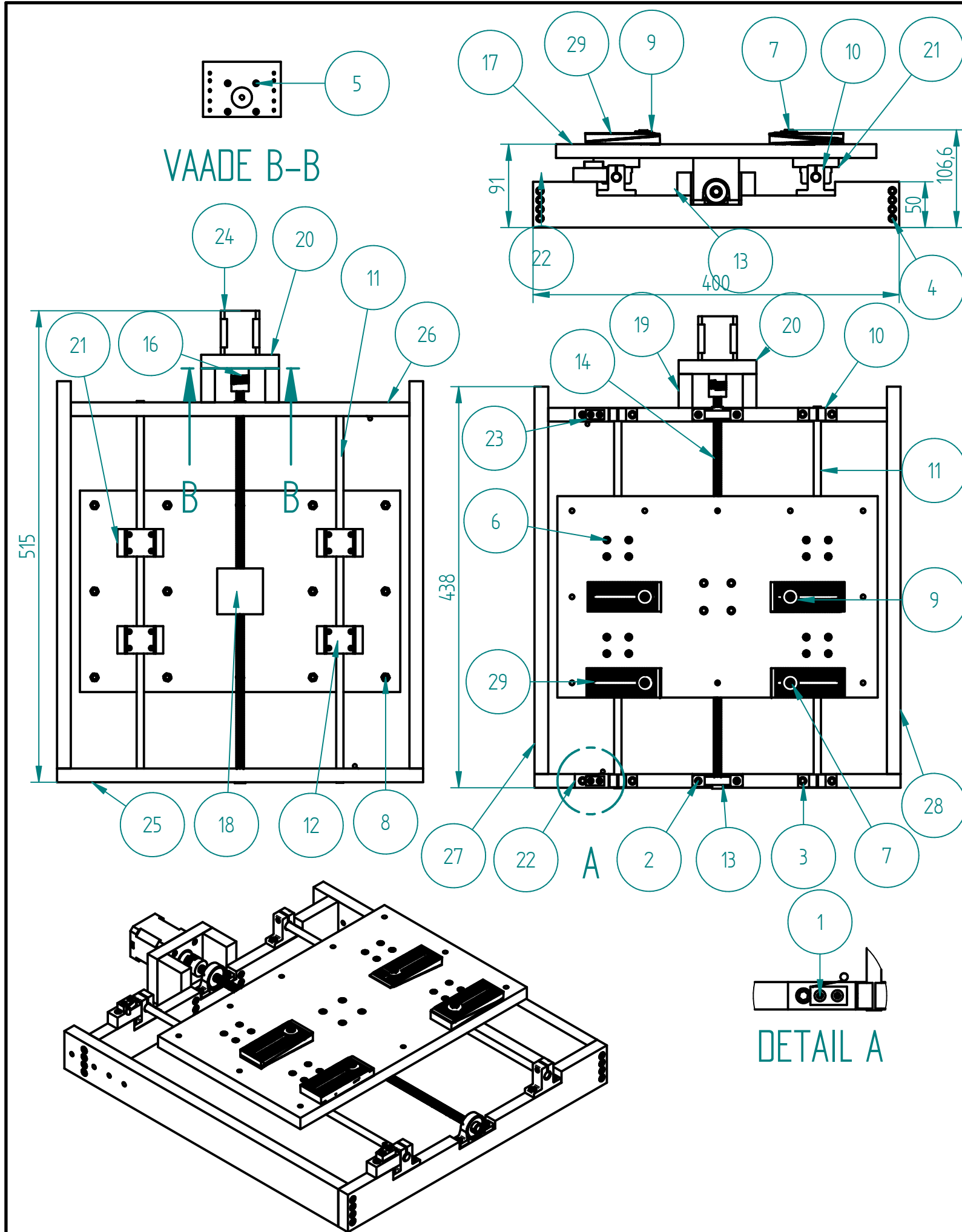




	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,341 kg	Mööd: 12
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Raamkonstruktsiooni külg 2		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 02 06 D	

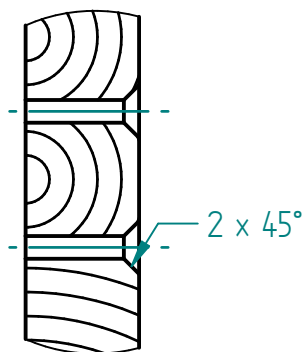
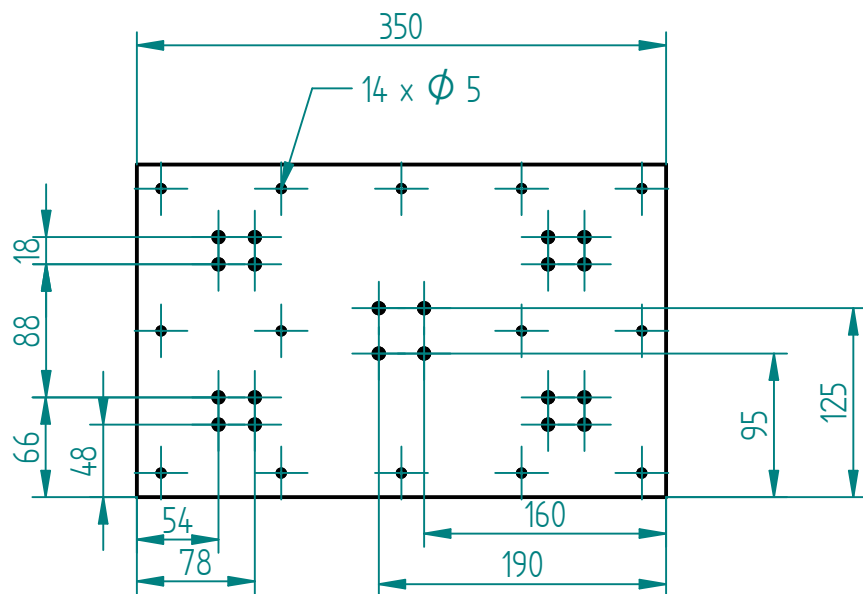


	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,341 kg	Mööd: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Raamkonstruktsiooni pealmine tala		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 02 07 D	

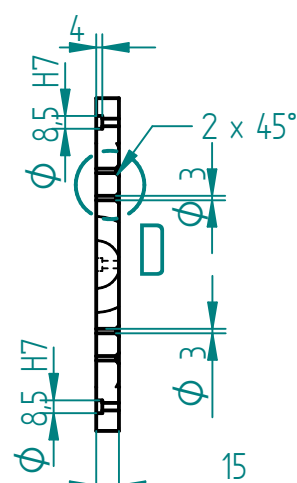
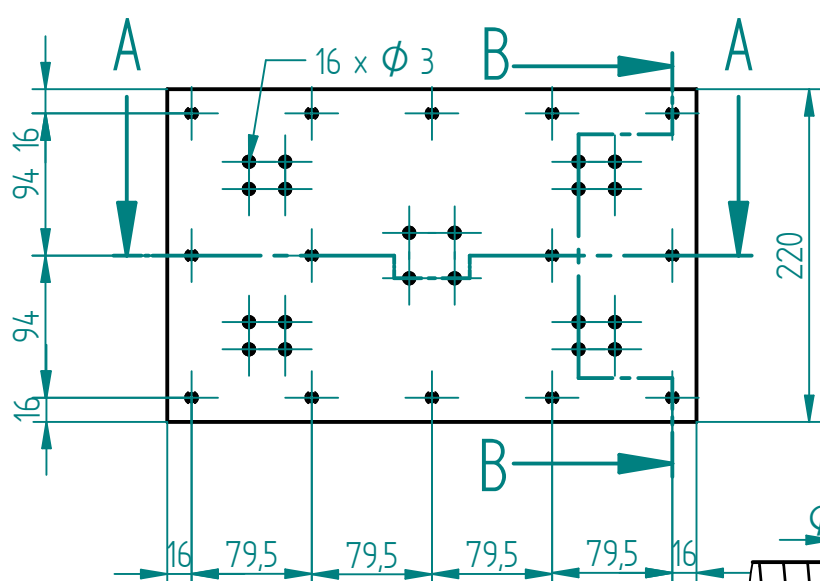


29	Kiil	TN 17/100367 C 03 07 D	8	
28	Alusraami tala 4		1	
27	Alusraami tala 3		1	
26	Alusraami tala 2		1	
25	Alusraami tala 1		1	
24	Samm-mootor Nema17		1	
23	Piirlüliti		2	
22	Piirlüliti kõrgenduspuks	TN 17/100367 C 03 06 D	2	
21	X-telje kõrgenduspuks	TN 17/100367 C 03 05 D	4	
20	Mootori plaat	TN 17/100367 C 03 04 D	1	
19	Mootoriplaadi puks	TN 17/100367 C 03 03 D	1	
18	X-telje töölauda juhtpuks	TN 17/100367 C 03 02 D	1	
17	Töölaud	TN 17/100367 C 03 01 D	1	
16	Muhvsidur		1	
15	Trapetskeermelati mutter, messing		1	
14	Trapetskeermelatt, teras		1	
13	Laagripukk 608 RS		2	
12	Lineaarlaager pukiga LM8UU		4	
11	Lineaarjuhiku võll 59 HRC ISO h6		2	
10	Lineaarvõlli tugi		4	
9	Seib DIN 9021 06/18/1,6		5	
8	Mutter DIN 934 M5		14	
7	Polt DIN 965 M5x30 Zn		5	
6	Polt DIN 965 M4x40 Zn		16	
5	Polt DIN 965 M3x25 Zn		4	
4	Peitpeakruvi 4,5x55 Zn		16	
3	Peitpeakruvi 4x35 Zn		37	
2	Peitpeakruvi 3,5x25 Zn		5	
1	Peitpeakruvi 3x15 Zn		8	

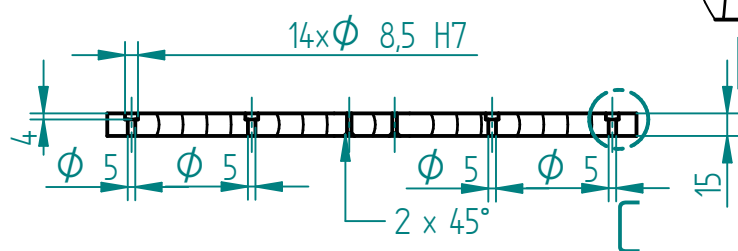
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
	Materjal:		Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 3,5 kg	Mööd: 1:5
Teostas	Eero Tiisler		X-telje töösõlme koost		
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN			Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 03 00 K	



DETAIL D

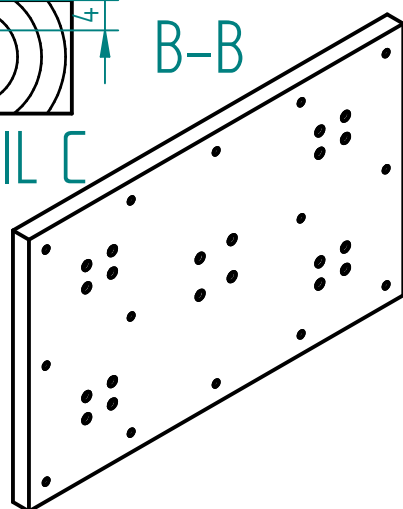


VAADE B-B



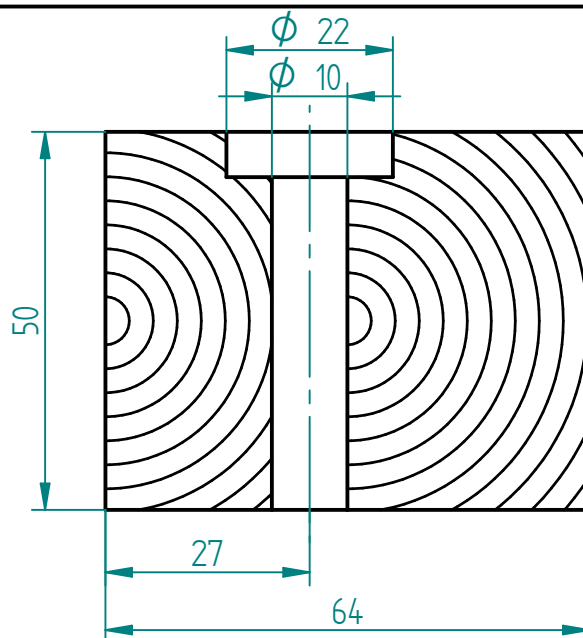
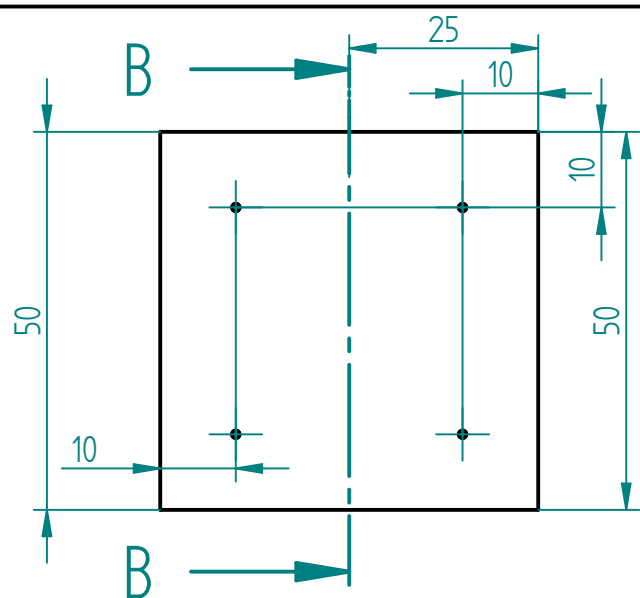
DETAIL C

VAADE A-A

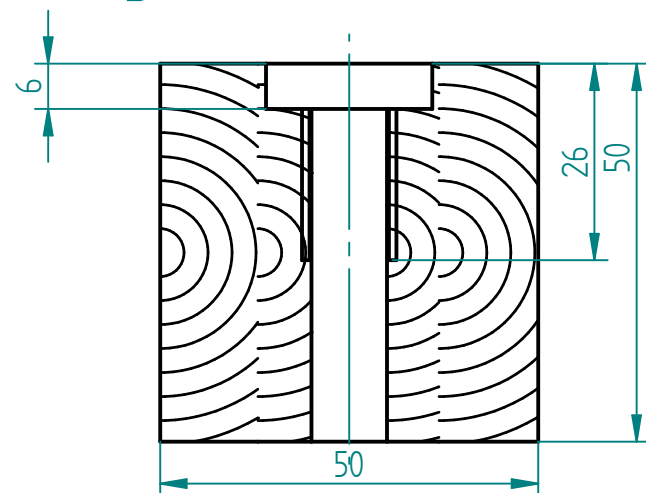


Märkused: avad faasid h 2 x 45°

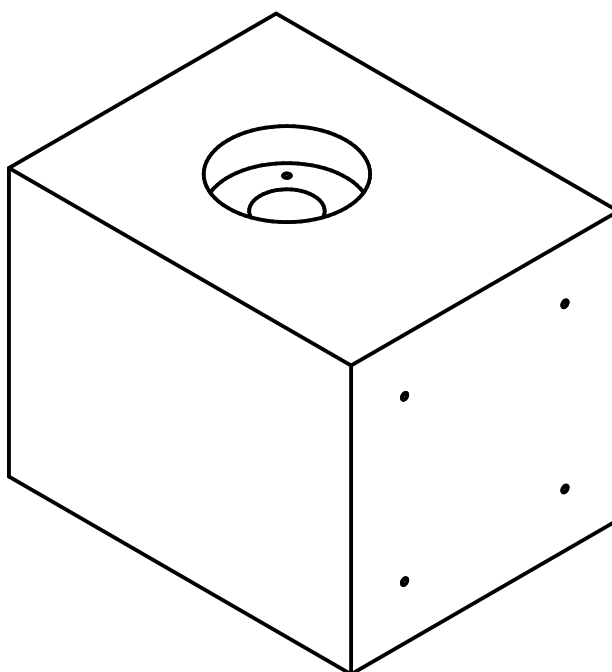
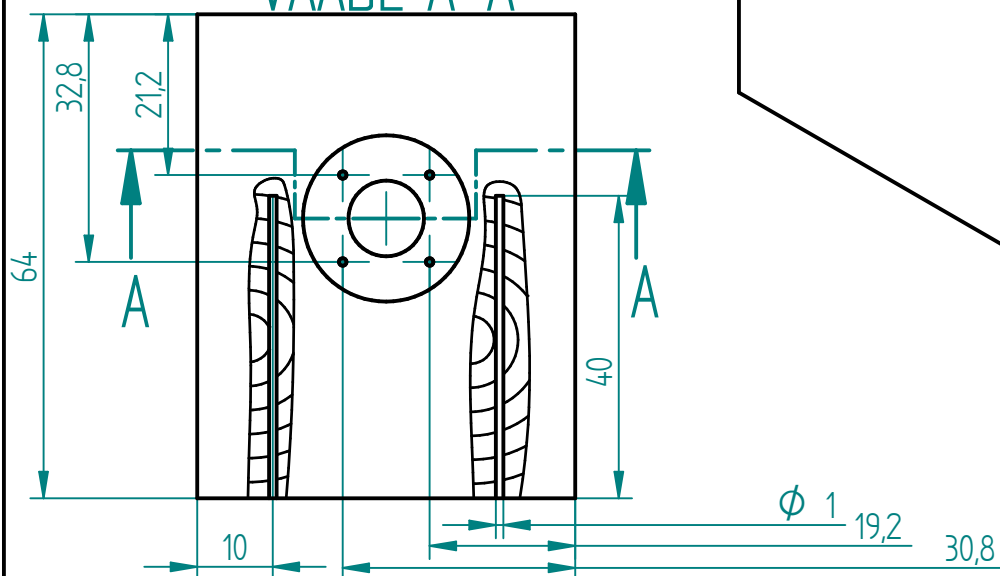
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,86 kg	Mööd: 1:5
Teostas	Eero Tiisler	Töölaud		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN	Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 [ 03 01 D		



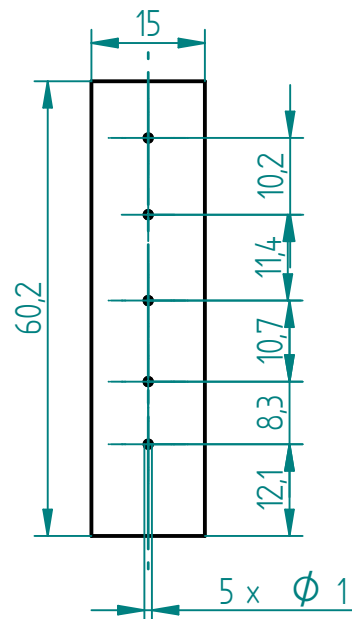
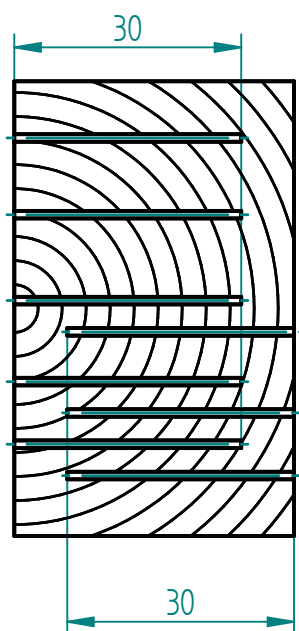
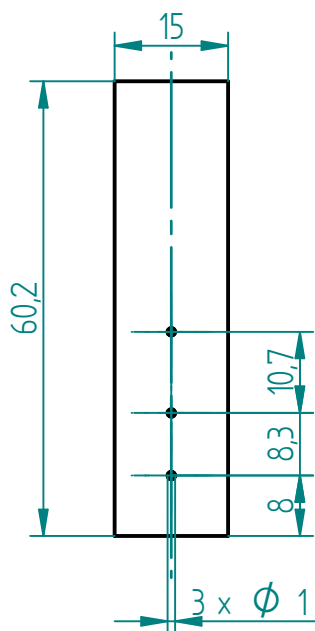
VAADE B-B



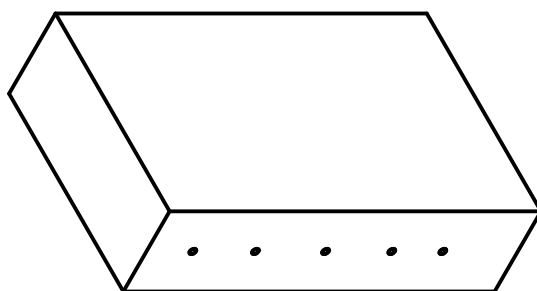
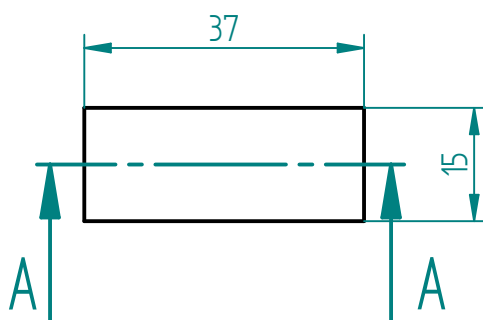
VAADE A-A



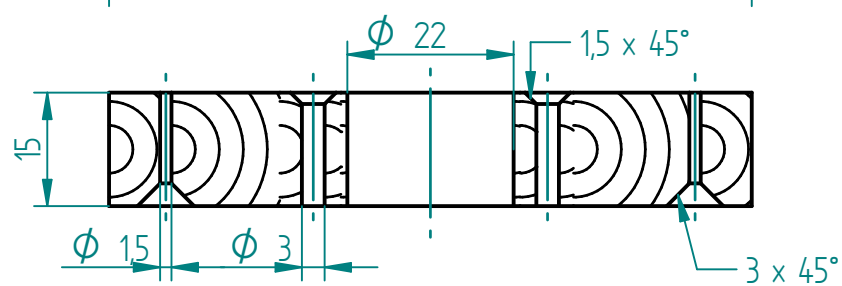
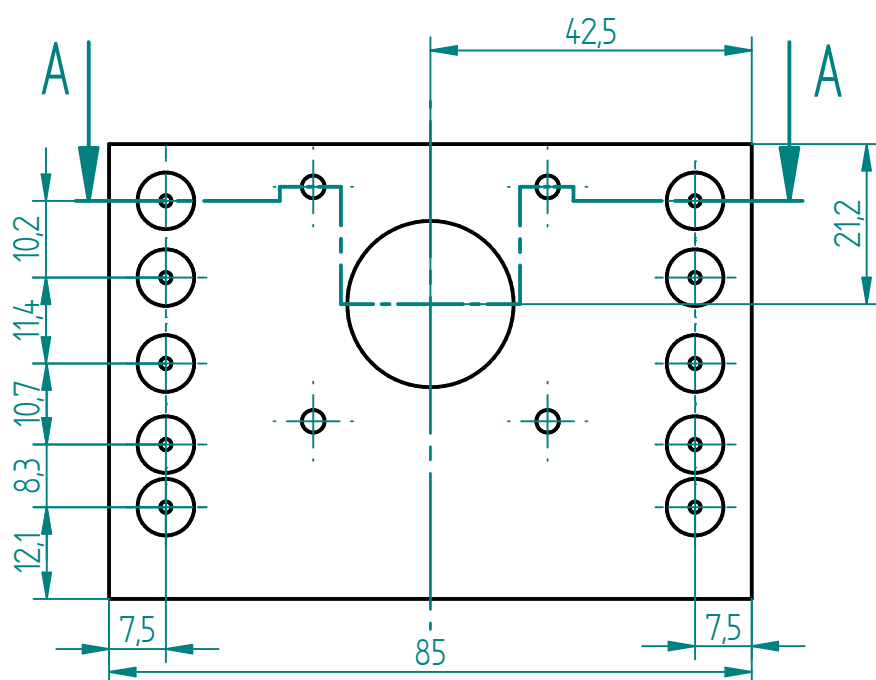
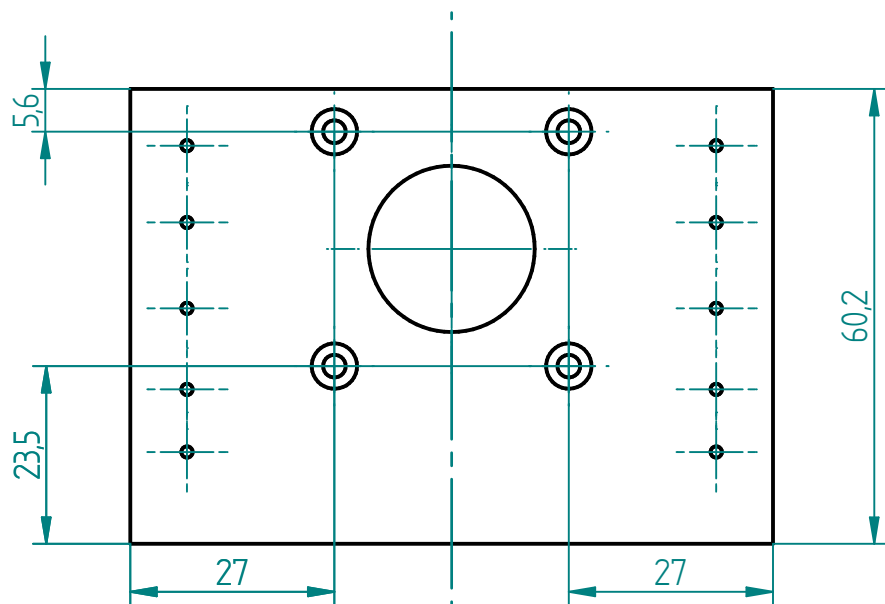
	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,07 kg	Möötl: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	X-telje töölaeva juhtpuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 03 02 D	



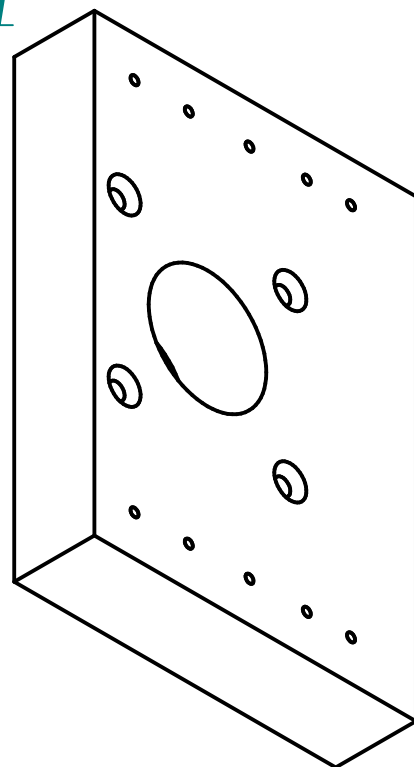
VAADE A-A



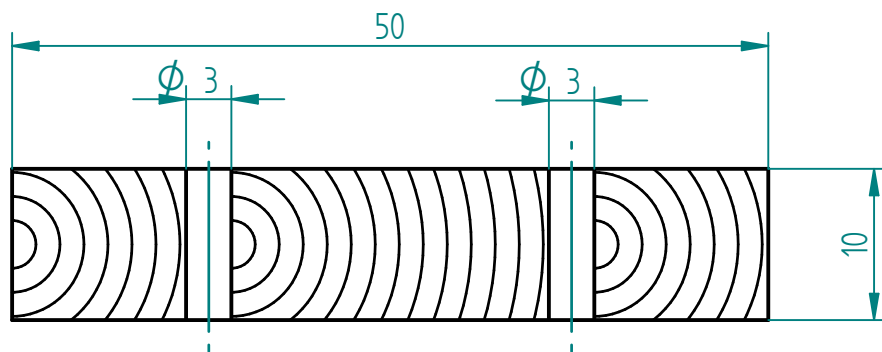
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,025 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Mootoriplaadi puks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 03 03 D	



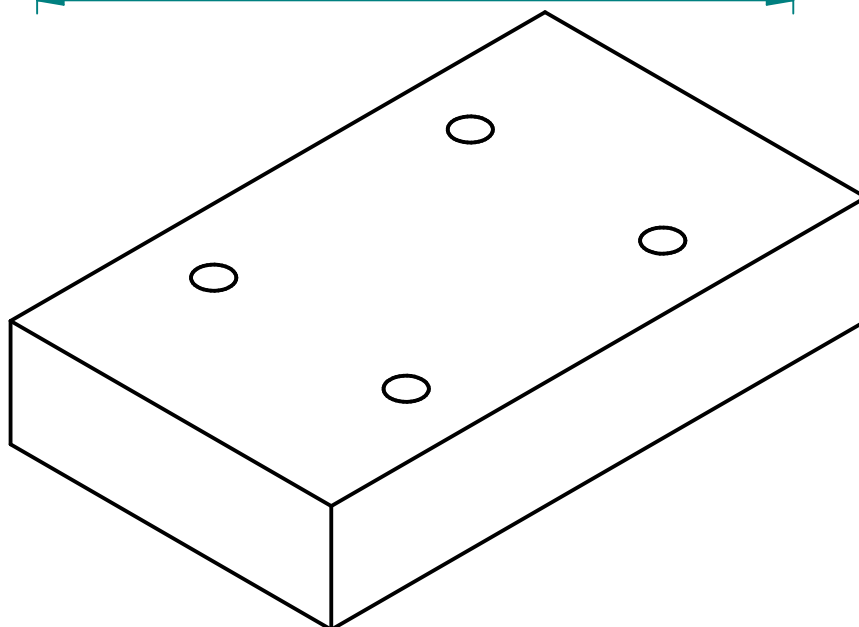
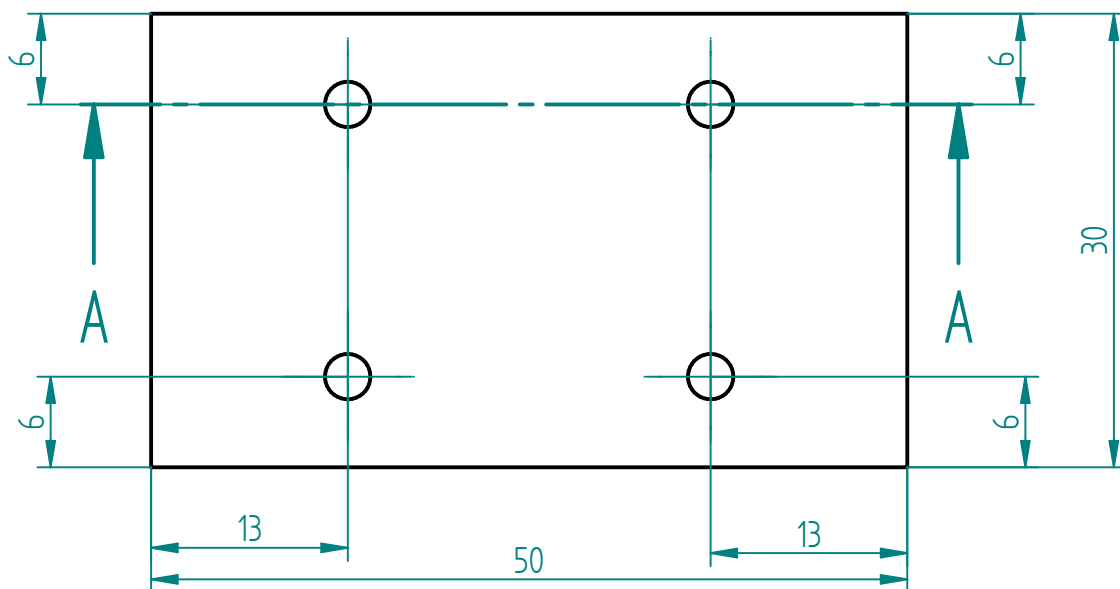
VAADE A-A



	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,052 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Mootori plaat		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 [ 03 04 D	

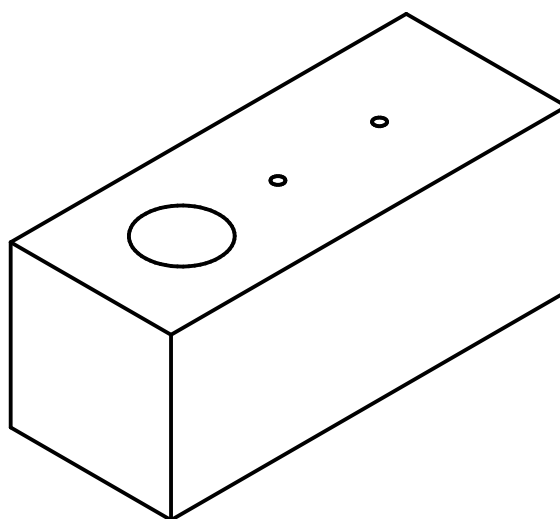
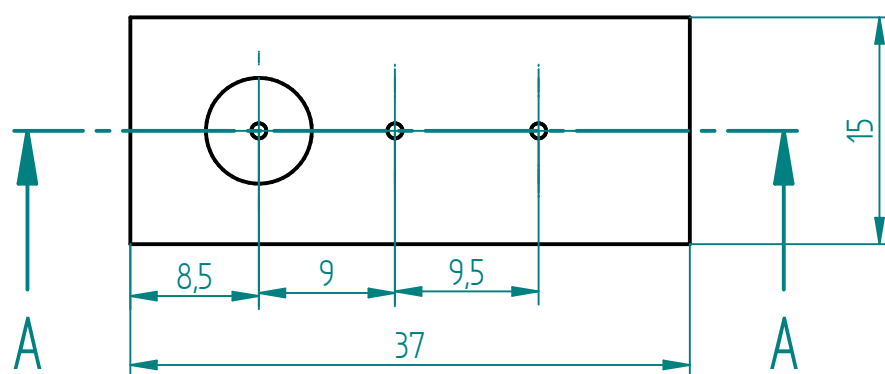
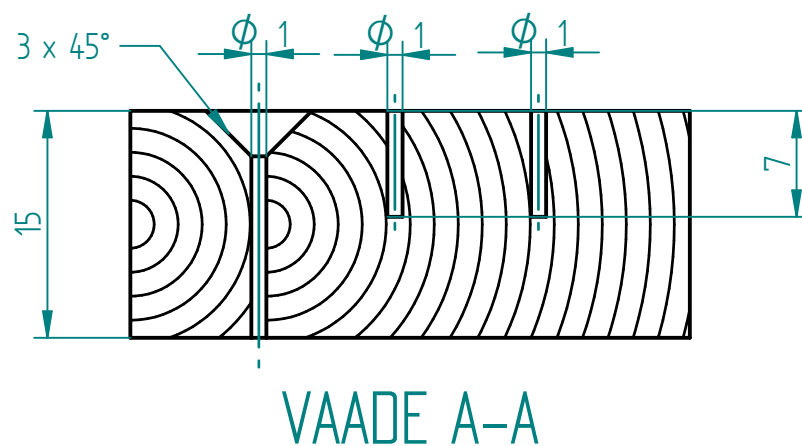


VAADE A-A

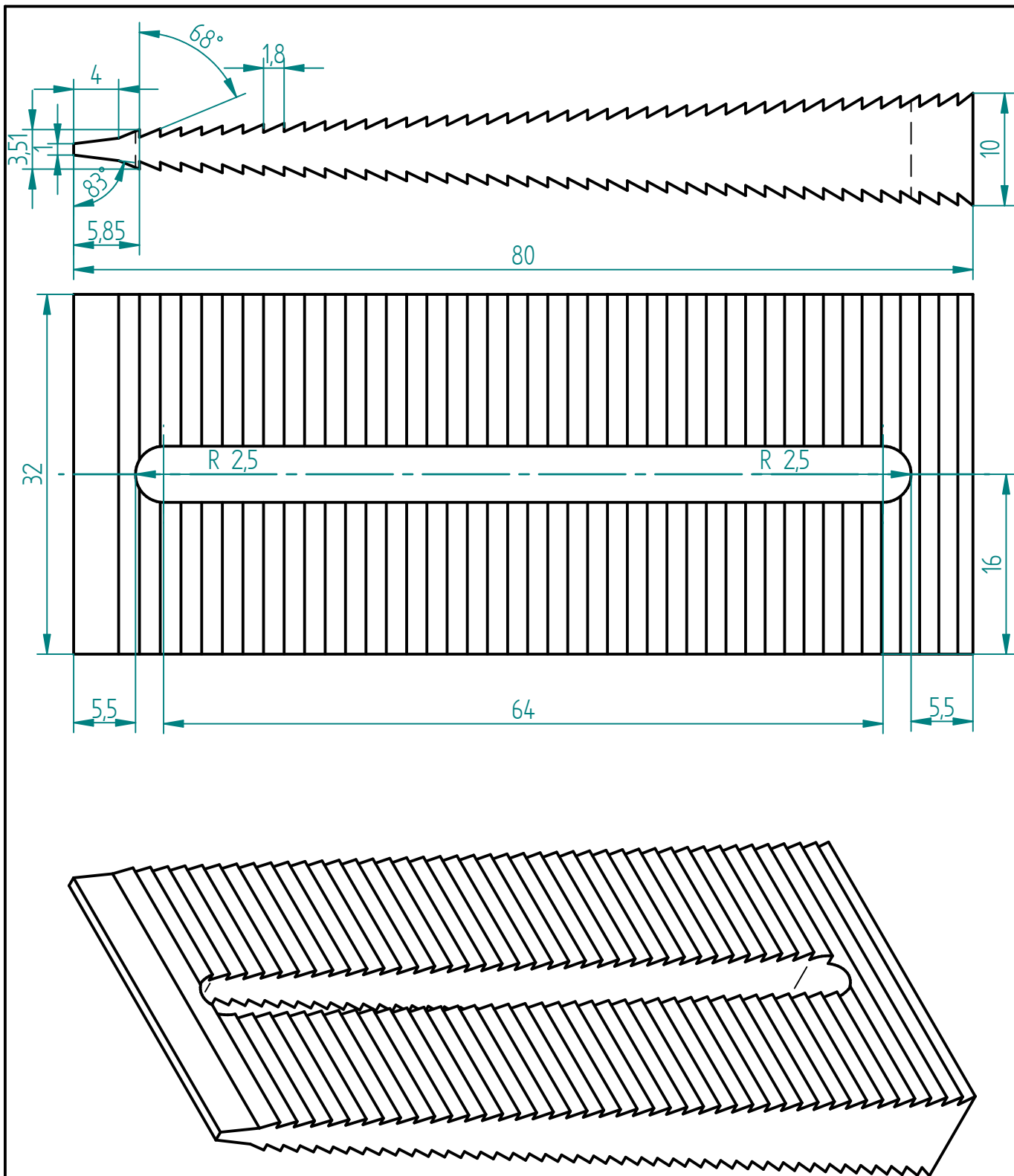


	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,007 kg	Mööd: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  X-telje kõrgenduspuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 [ 03 05 D	

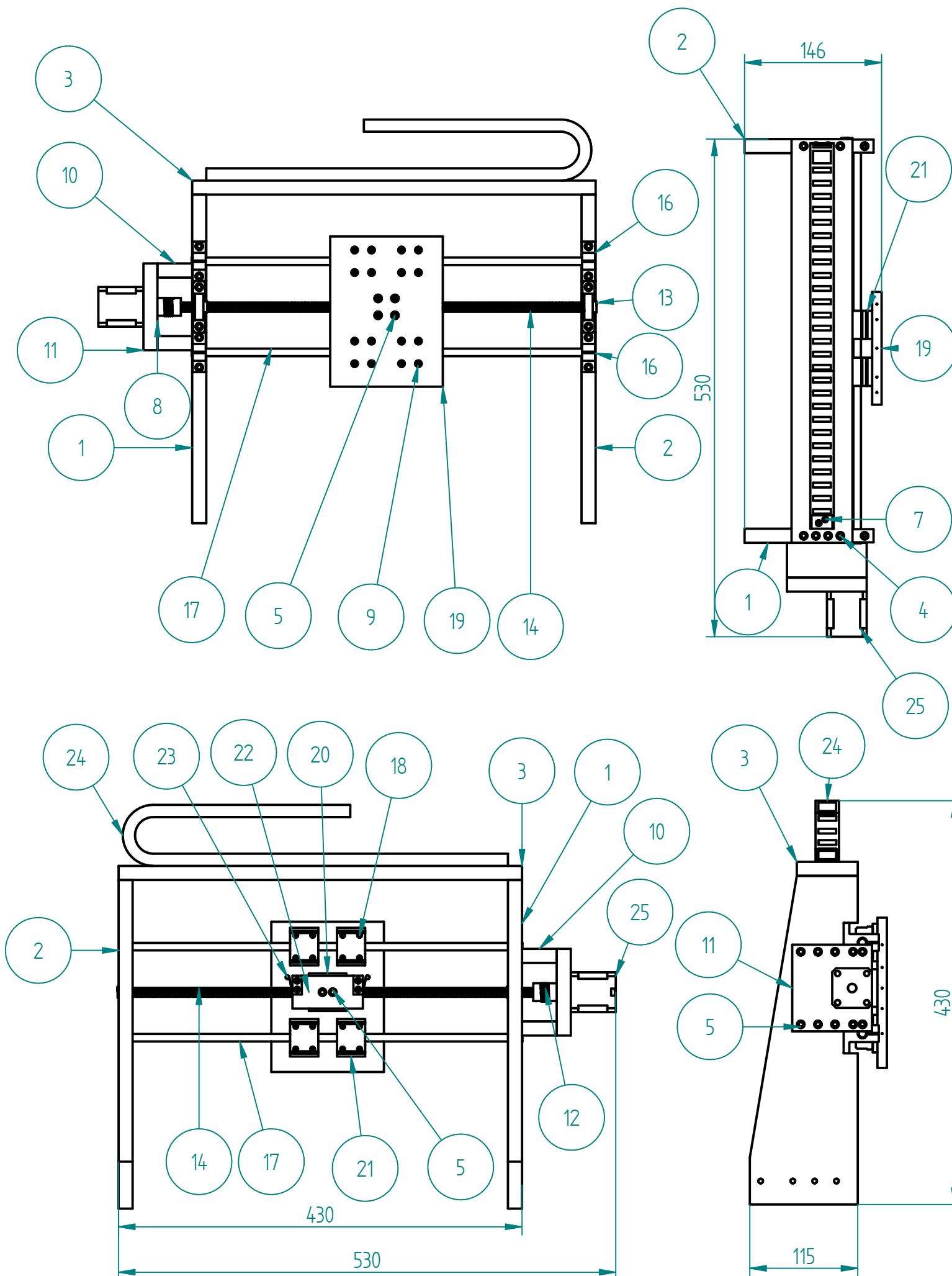




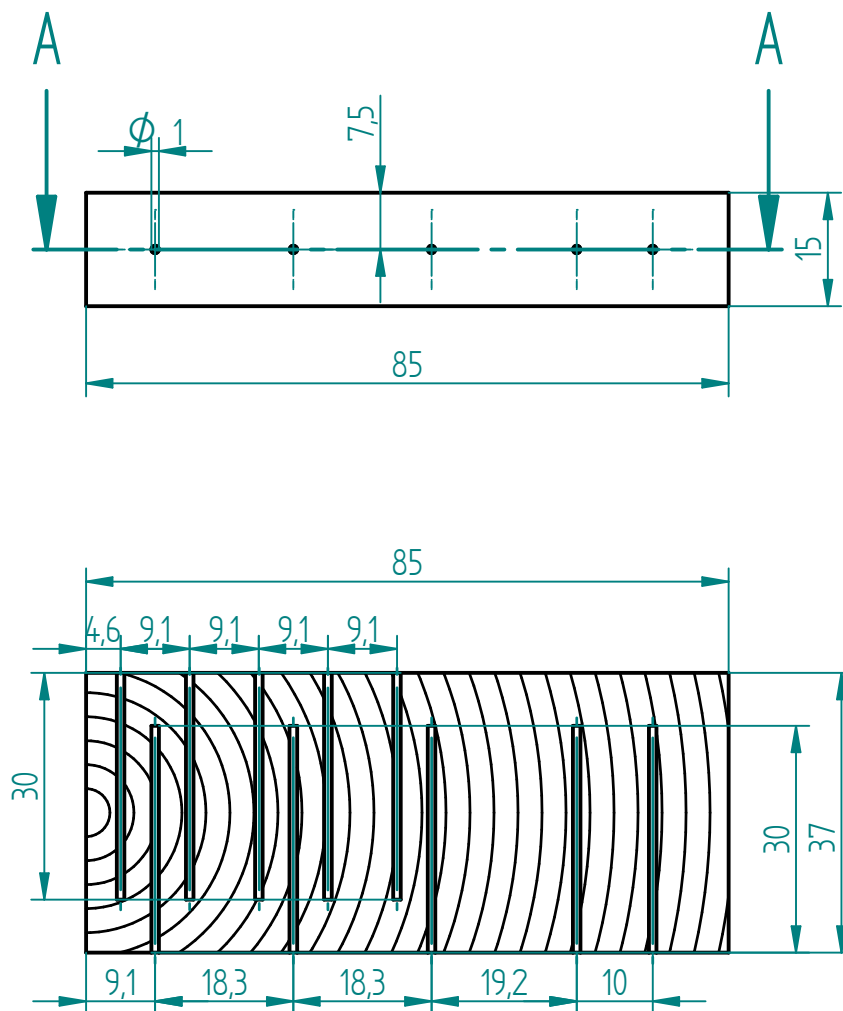
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,006 kg	Mööd: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Piirlüliti kõrgenduspuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 03 06 D	



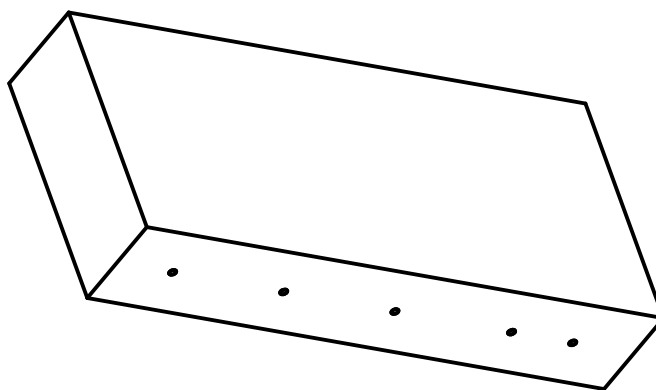
	Materjal: Plastik ABS	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,01 kg	Möötlus: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Kiil		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 03 07 D	



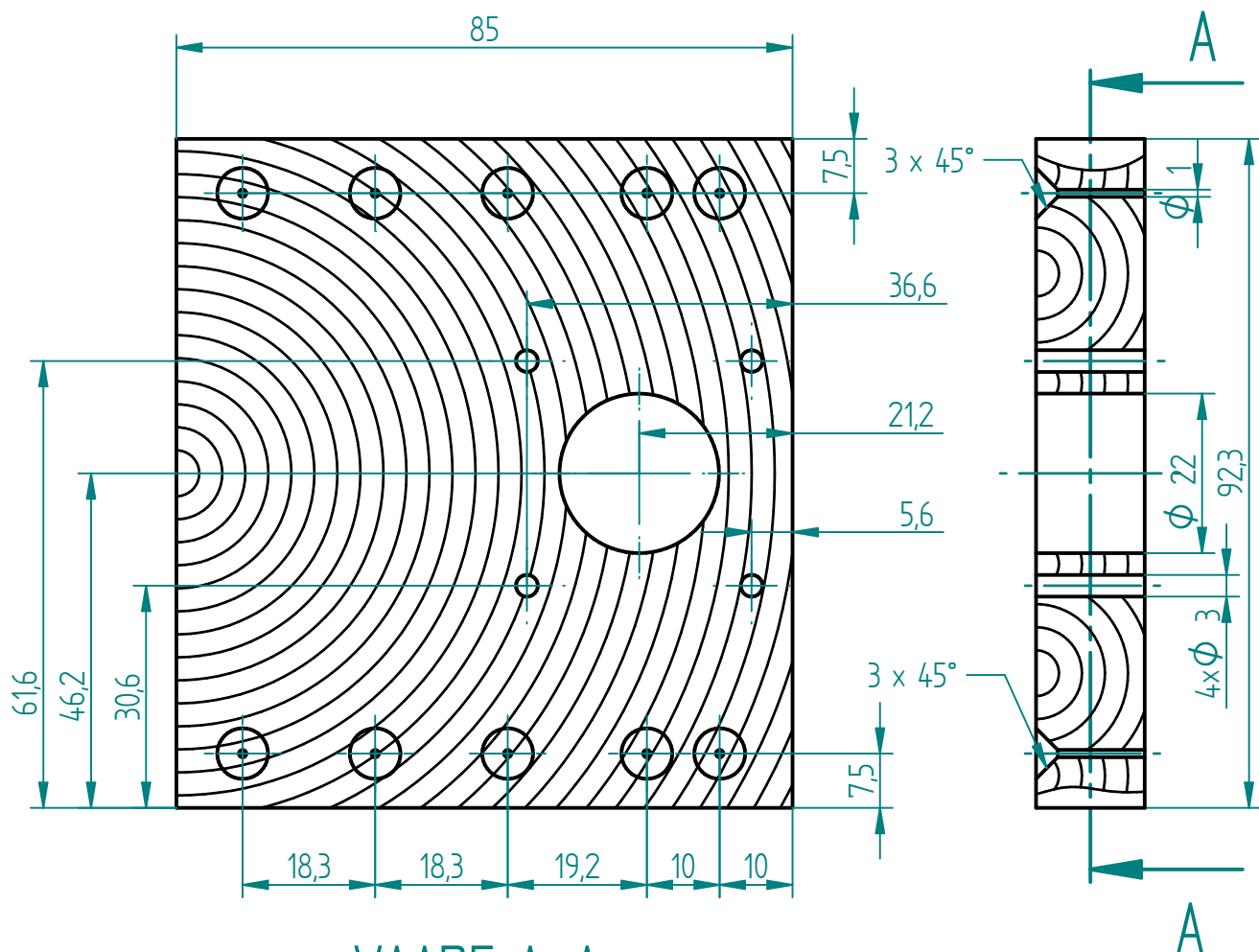
25		Samm-mootor Nema17		1	
24		Energiakett		1	
23		Piirlüliti		2	
22		Piirlüliti kõrgenduspuks	TN 17/100367 C 04 06 D	1	
21		Y-telje kõrgenduspuks	TN 17/100367 C 04 05 D	4	
20		Y-telje töölauda juhtpuks	TN 17/100367 C 04 04 D	1	
19		Y-telje Töölaud	TN 17/100367 C 04 03 D	1	
18		Lineaarlaager pukiga LM8UU		4	
17		Lineaarjuhiku völli 59 HRC ISO h6		2	
16		Lineaarvölli tugi		4	
15		Trapetskeermelati mutter, messing		1	
14		Trapetskeermelatt, teras		1	
13		Laagripukk 608 RS		2	
12		Muhvsidur		1	
11		Mootori plaat	TN 17/100367 C 04 02 D	1	
10		Mootoriplaadi puks	TN 17/100367 C 04 01 D	1	
9		Polt DIN 965 M4×40 Zn		16	
8		Polt DIN 965 M3×25 Zn		4	
7		Peitpeakruvi 2×9,5 Zn		2	
6		Peitpeakruvi 3×15 Zn		4	
5		Peitpeakruvi 4×35 Zn		38	
4		Peitpeakruvi 4,5×55 Zn		8	
3		Raamkonstruktsiooni pealmine tala		1	
2		Raamkonstruktsiooni külg 2		1	
1		Raamkonstruktsiooni külg 1		1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk	Märkus
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 2,94 kg	Mööd: 1.5
Teostas	Eero Tiisler		Y-telje töösõlme koost		
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN			Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 04 00 K	



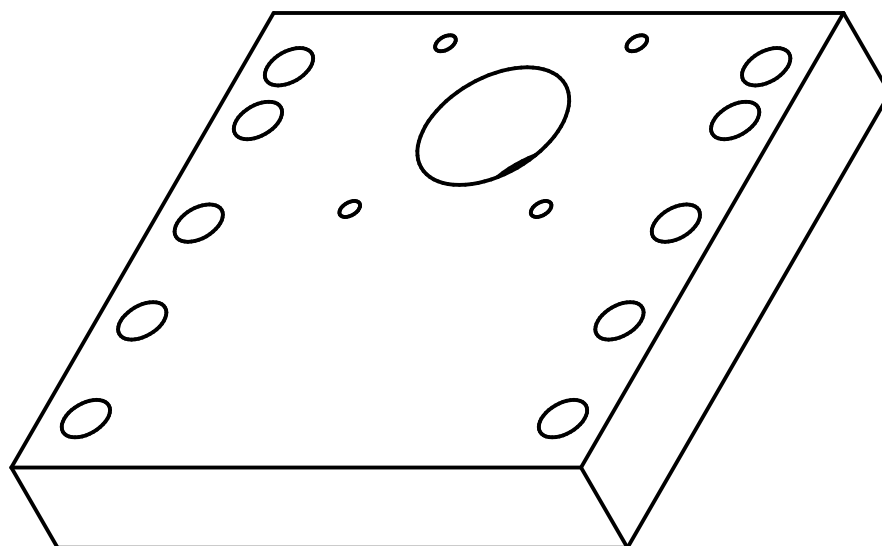
VAADE A-A



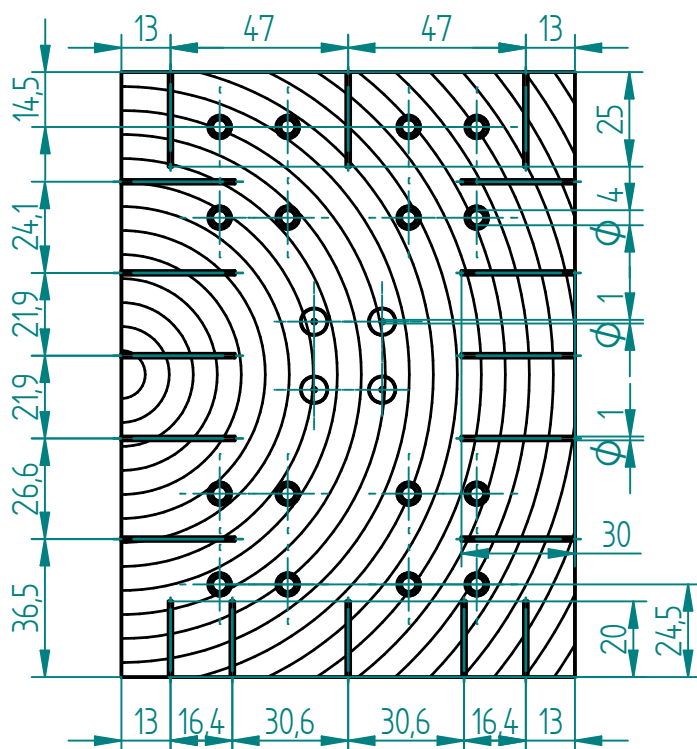
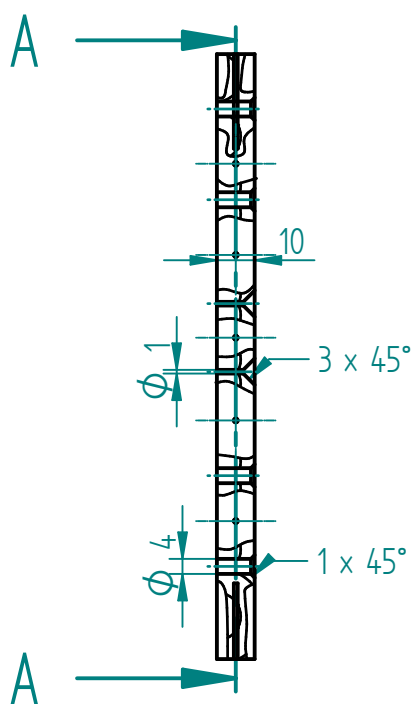
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,035 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Mootoriplaadi puks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN	Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 [ 04 01 ]		



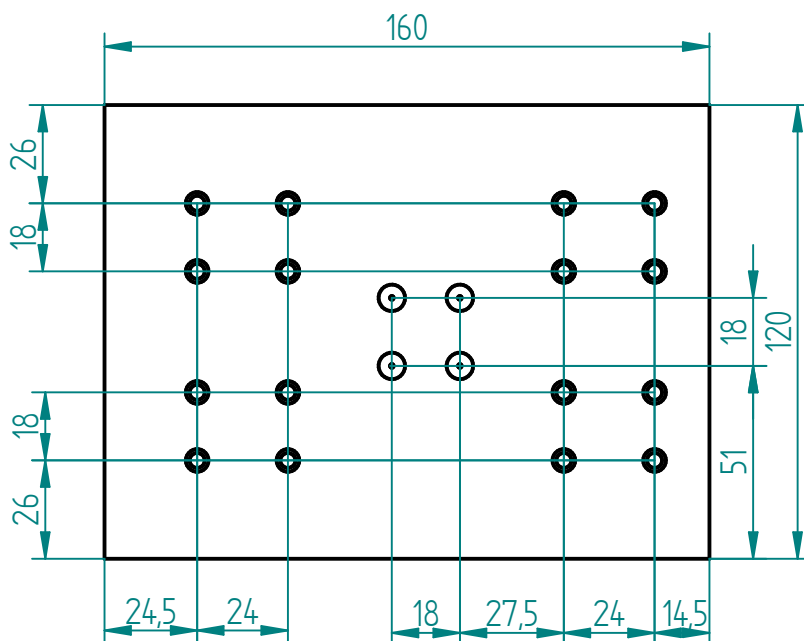
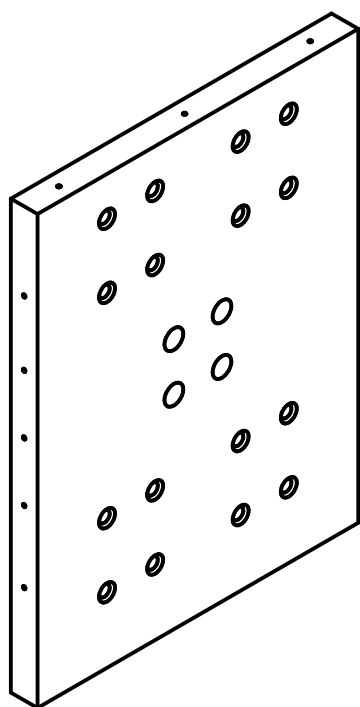
VAADE A-A



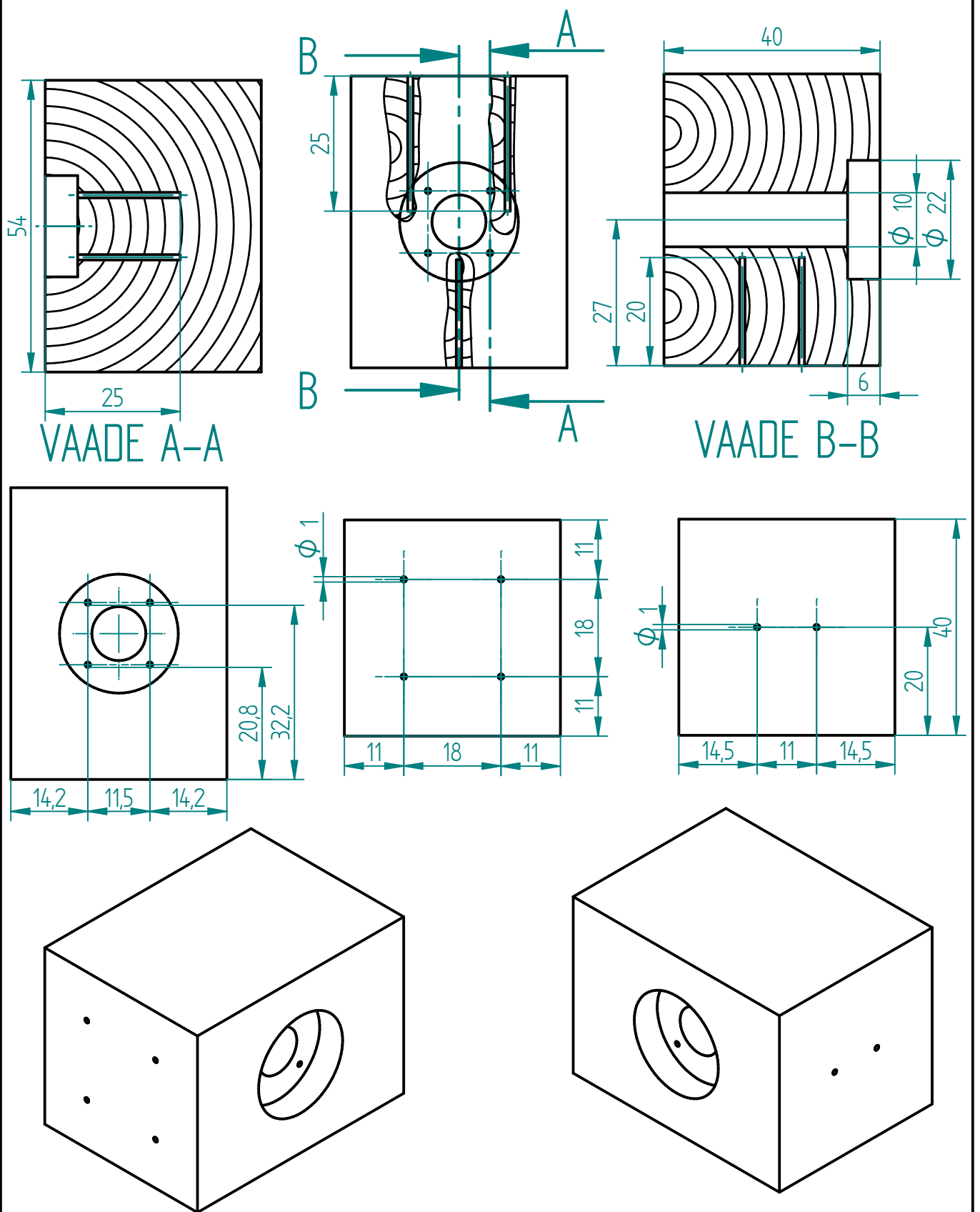
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,083 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Mootoriplaadi puks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 04 02 D	



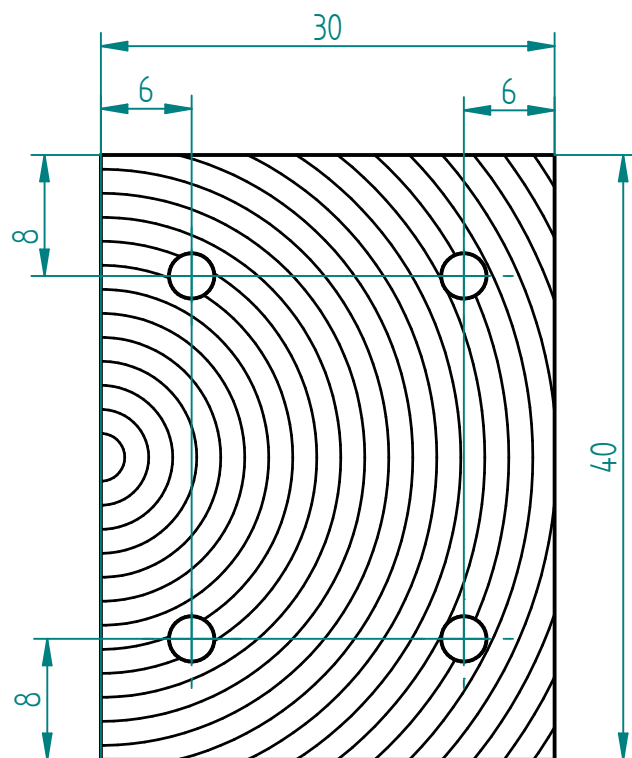
VAADE A-A



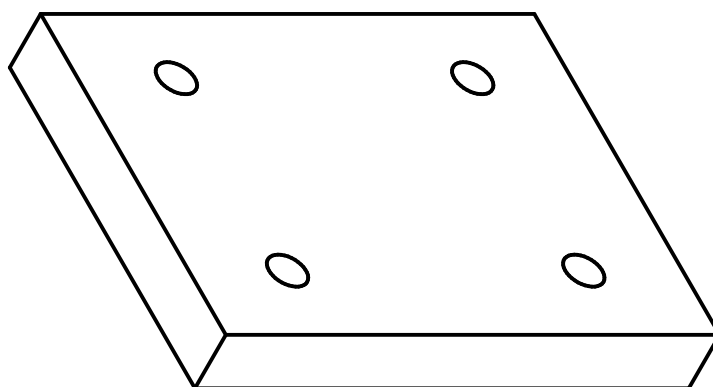
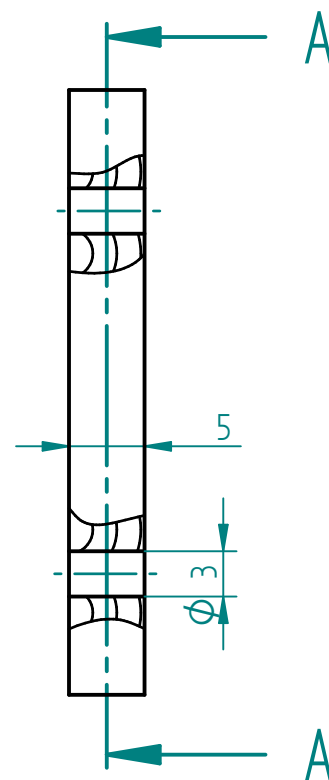
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,142 kg	Mõõt: 1:2
Teostas	Eero Tiisler	Y-telje töölaud		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 04 03 ]	



	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,038 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Y-telje töölauda juhtpuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 04 04 D	

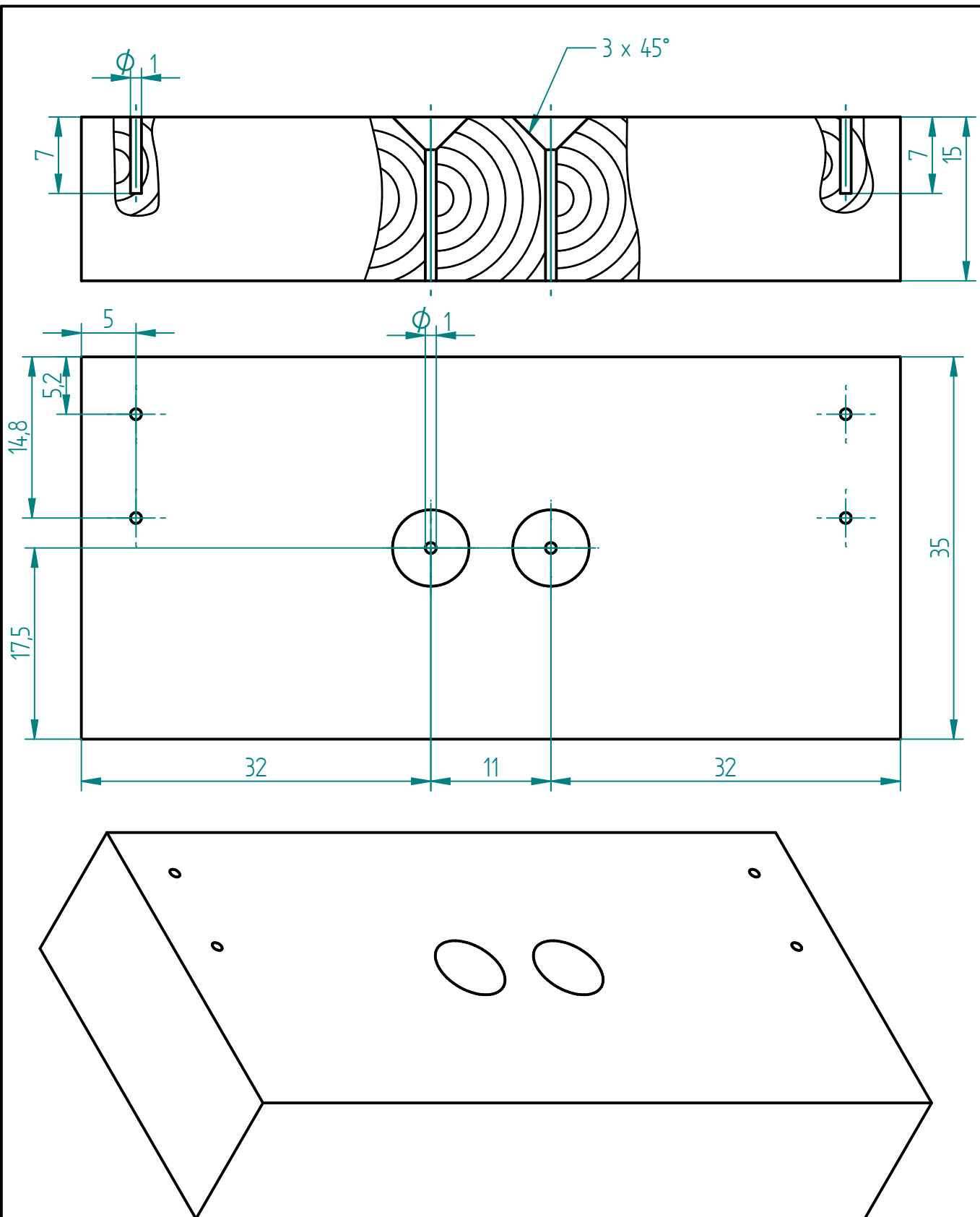


SECTION A-A

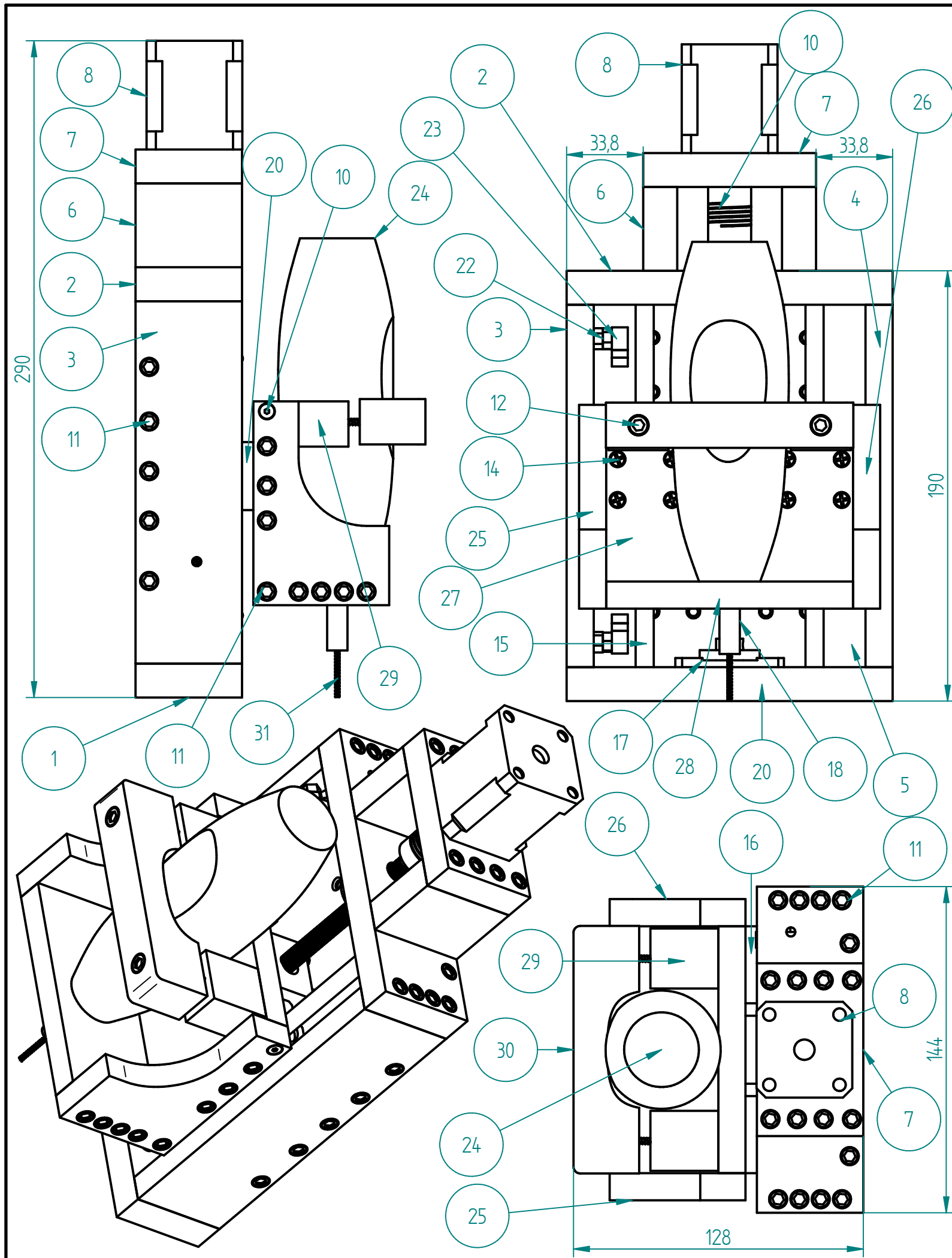


	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,003 kg	Möötlus: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Y-telje kõrgenduspuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 04 05 D	

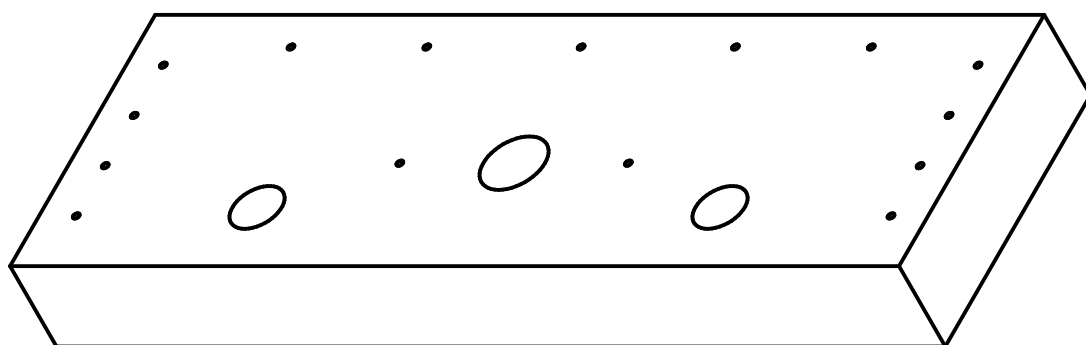





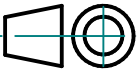
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,029 kg	Mööd: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Piirlüliti kõrgenduspuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 [ 04 06D	

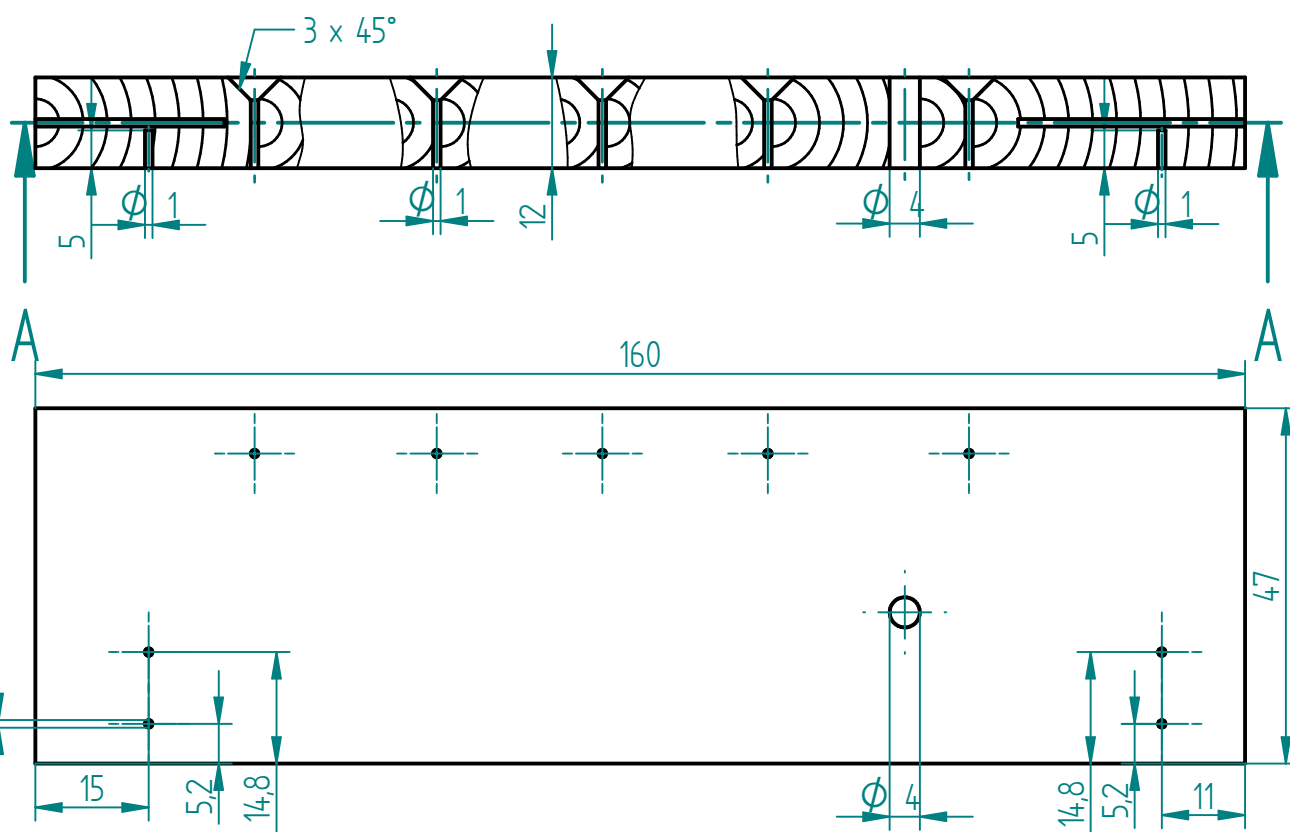



31	Freesi tera		8	
30	Freesi pealmine kinnitus	TN 17/100367 C 05 14 D	1	
29	Freesi külgmine kinnitus	TN 17/100367 C 05 13 D	1	
28	Freesihooldiku põhjaplaat	TN 17/100367 C 05 12 D	1	
27	Z-telje töölaud	TN 17/100367 C 05 11 D	1	
26	Freesihooldiku külg 2	TN 17/100367 C 05 10 D	1	
25	Freesihooldiku külg 1	TN 17/100367 C 05 09 D	1	
24	Freesi Dremel 3000		1	
23	Piirlüliti		2	
22	Mutter DIN 934 M4		4	
21	Freesihooldiku kõrgenduspuks	TN 17/100367 C 05 08 D	2	
20	Freesihooldiku juhtpuks	TN 17/100367 C 05 07 D	1	
19	Trapetskeermelati mutter, messing		1	
18	Trapetskeermelatt, teras		1	
17	Lame laagripukk 608 RS		2	
16	Lineaarlaager pukiga LM8UU		2	
15	Lineaarjuhiku völli 59 HRC ISO h6		2	
14	Polt DIN 965 M4x40 Zn		8	
13	Polt DIN 965 M3x25 Zn		4	
12	Peitpeakruvi 4,5x55 Zn		2	
11	Peitpeakruvi 4x35 Zn		62	
10	Peitpeakruvi 3,5x25 Zn		6	
9	Muhvsidur		1	
8	Samm- mootor Nema 17		1	
7	Mootori plaat	TN 17/100367 C 05 06 D	1	
6	Mootoriplaadi puks	TN 17/100367 C 05 05 D	1	
5	Y-telje töölaud		1	
4	Raamkonstruktsiooni plaat 4	TN 17/100367 C 05 04 D	1	
3	Raamkonstruktsiooni plaat 3	TN 17/100367 C 05 03 D	1	
2	Raamkonstruktsiooni plaat 2	TN 17/100367 C 05 02 D	1	
1	Raamkonstruktsiooni plaat 1	TN 17/100367 C 05 01 D	1	
Osa	Väli	Nimetus, materjal	Tähis	Hulk
		Materjal:	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 2,212 kg
			Mööd: 1:2	
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:	Z-telje töösõlme koost	
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht:	1	Tähis: TN 17/100367 C 05 00 K

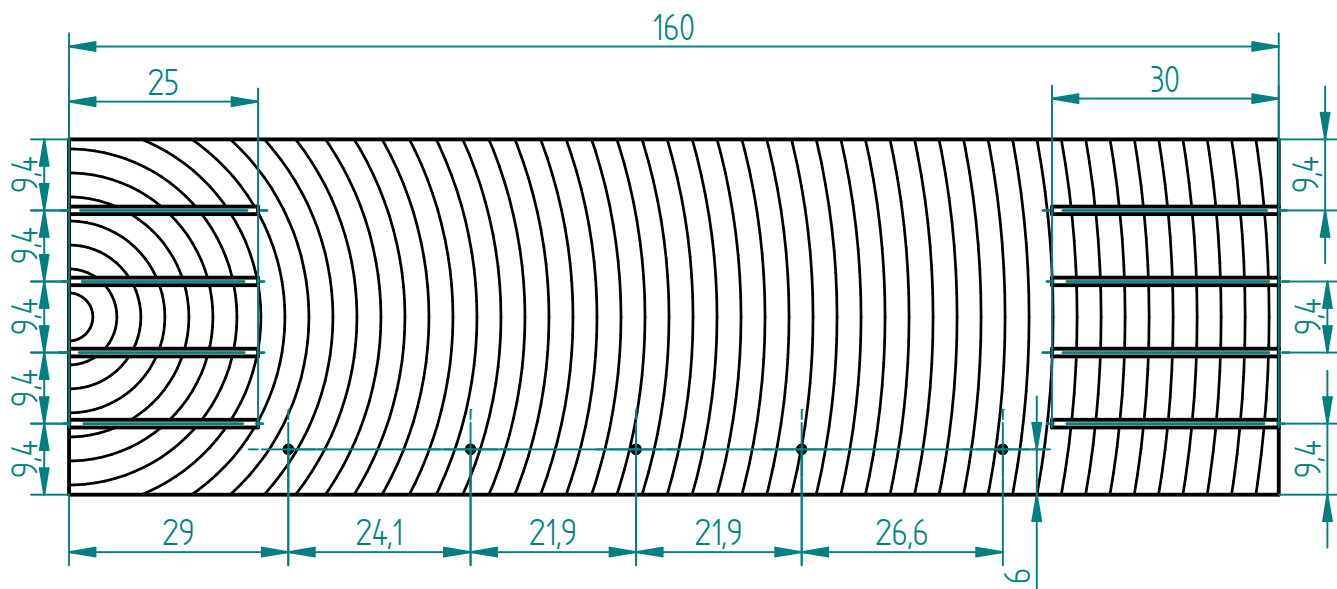


	Materjal: <i>Niiskuskindel filmivineer FW</i>		Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768</i>		Mass: <i>0,074 kg</i>	Mõõt: <i>1:1</i>
	Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  <i>Raamkonstruktsiooni plaat 1</i>			
	Kontrollis	Janar Kalder				
	Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN		Leht:  <i>1</i>	Tähis:  <i>TN 17/100367 C 05 01 D</i>			

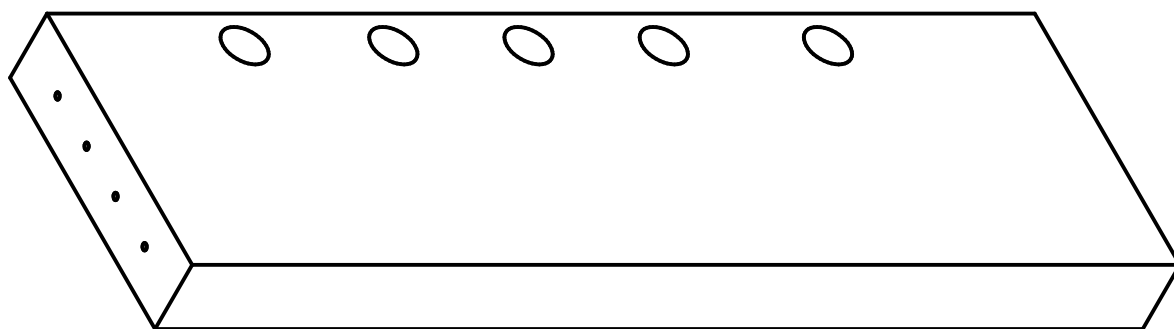
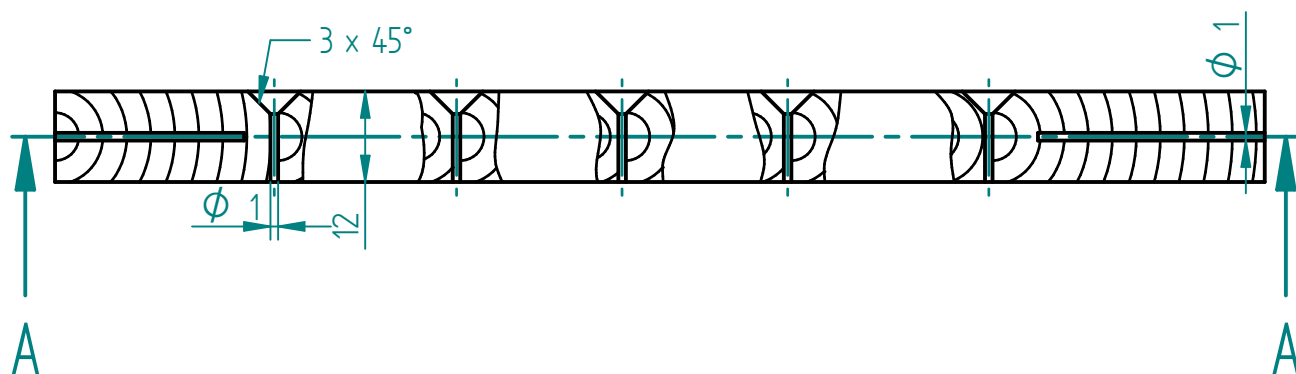
	Materjal:	Näitamata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	Niiskuskindel filmivineer FW	ISO 2768	0,074 kg	1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  <i>Raamkonstruktsiooni plaat 2</i>		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht:  1	Tähis:  TN 17/100367 C 05 02 D	



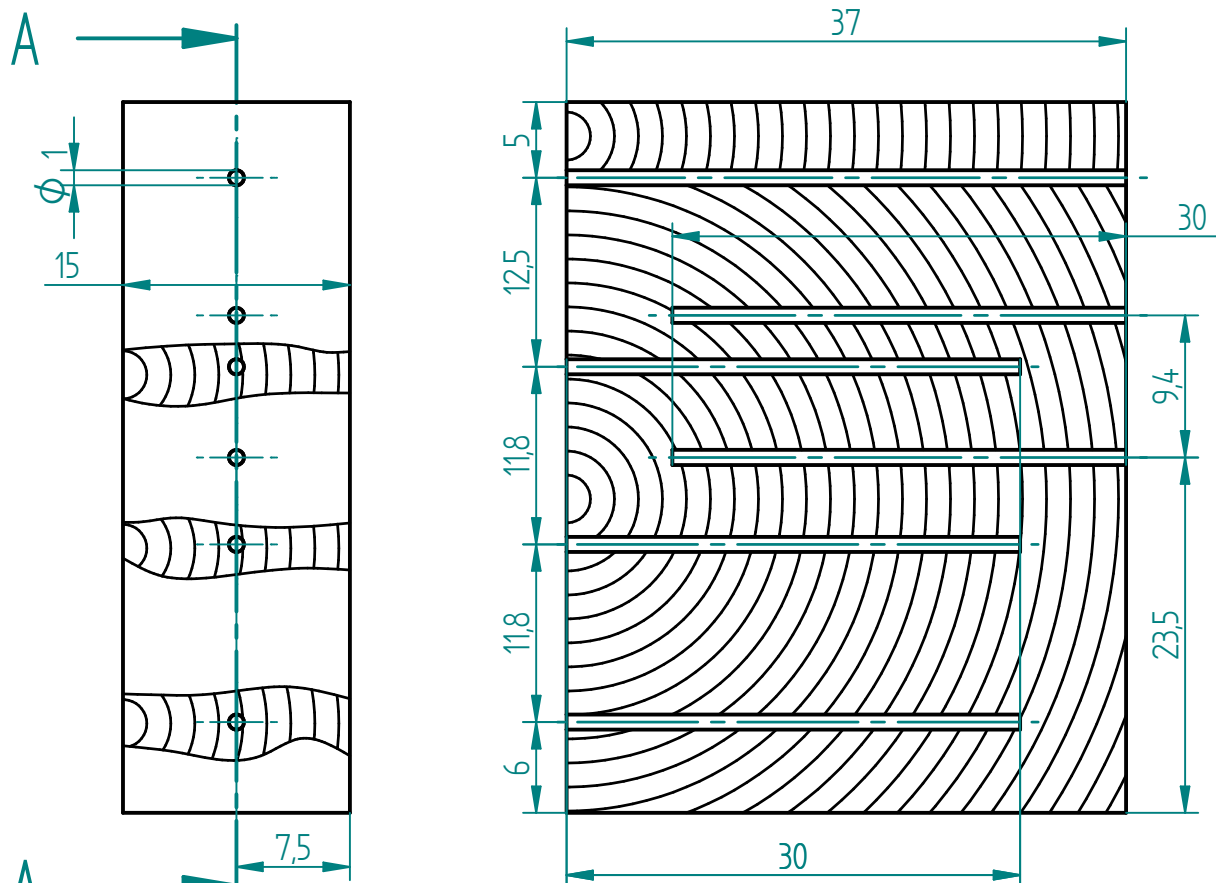
	Materjal:		Näitamata piirhálbed:	Mass:	Mõõt:
	Niiskuskindel filmivineer FW		ISO 2768	0,067 kg	1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  <i>Raamkonstruktsiooni plaat 3</i>			
Kontrollis	Janar Kalder				
Kinnitas	Janar Kalder				
EMÜ TS-TN		Leht:	Tähis:		
		1	TN 17/100367 [ 05 03 ]		



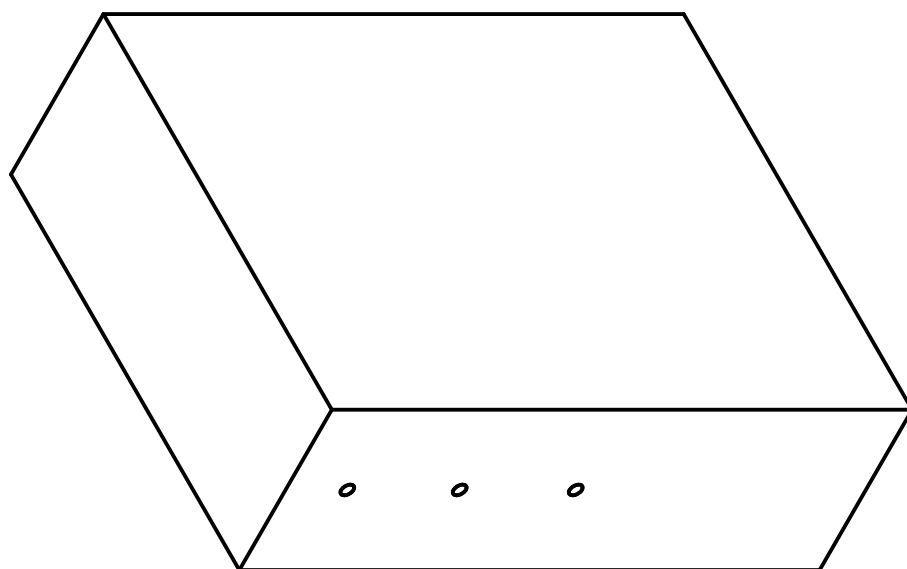
VAADE A-A



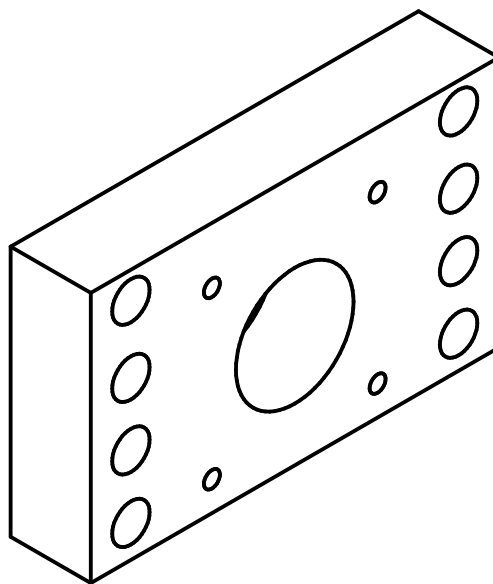
	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,067 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Raamkonstruktsiooni plaat 4		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 05 04 D	




VAADE A-A

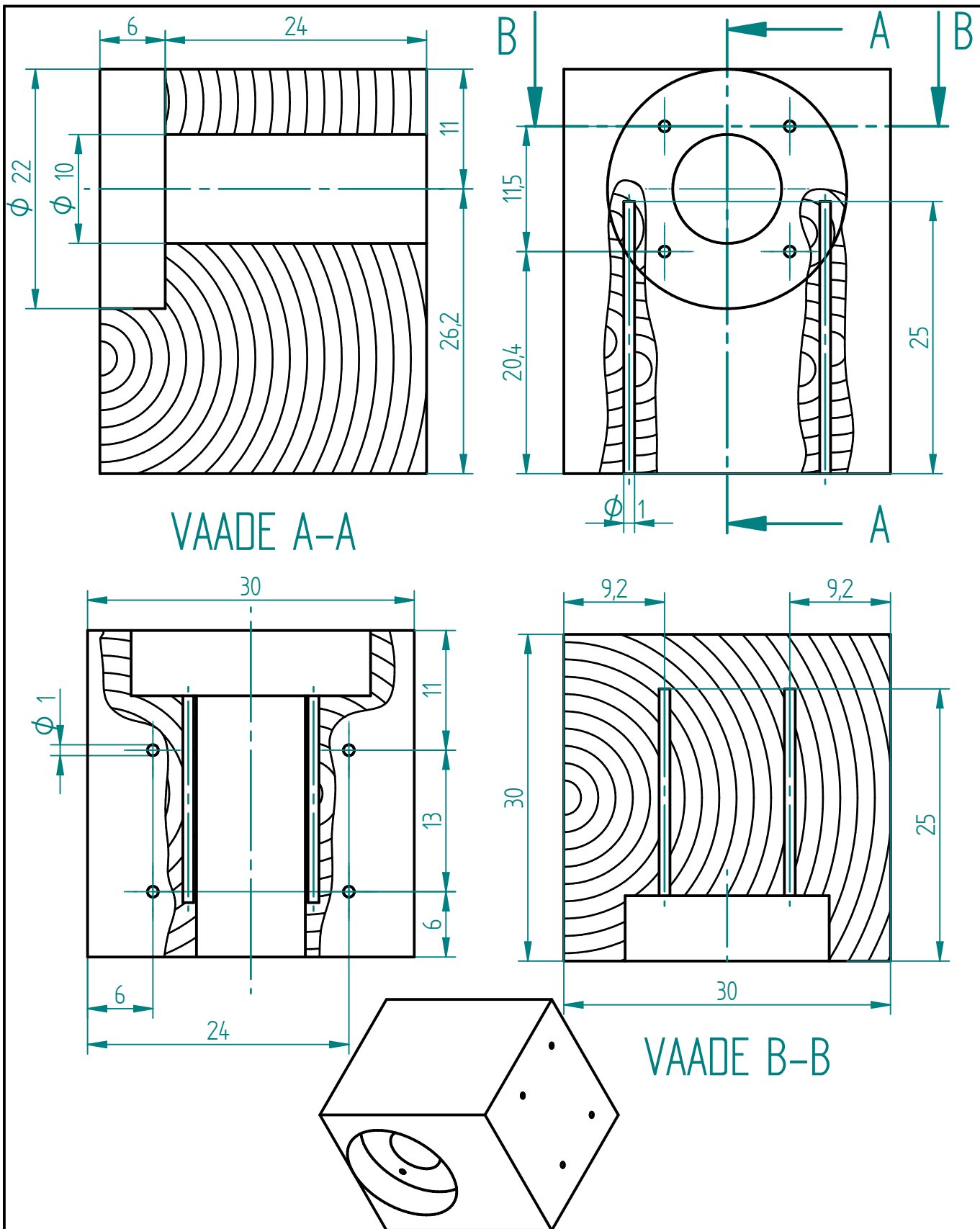


	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,019 kg	Möötlus: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Mootoriplaadi puks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 C 05 05 D	

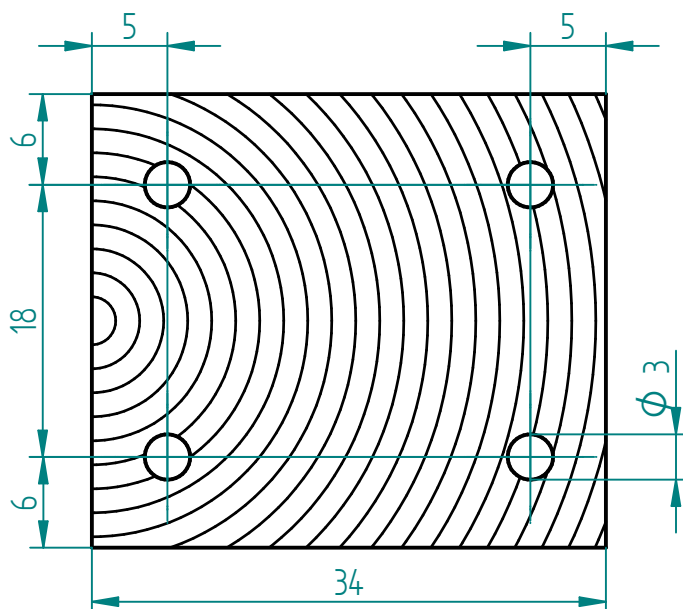


	Materjal: <i>Niiskuskindel filmivineer FW</i>		Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768</i>		Mass: <i>0,019 kg</i>	Mõõt: <i>1:1</i>
	<i>Teostas</i>	<i>Eero Tiisler</i>	Nimetus:  <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;"><i>Mootori plaat</i></div>			
	<i>Kontrollis</i>	<i>Janar Kalder</i>				
	<i>Kinnitas</i>	<i>Janar Kalder</i>				
<i>EMÜ TS-TN</i>		Leht: <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;"><i>1</i></div>	Tähis: <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;"><i>TN 17/100367 C 05 06 D</i></div>			

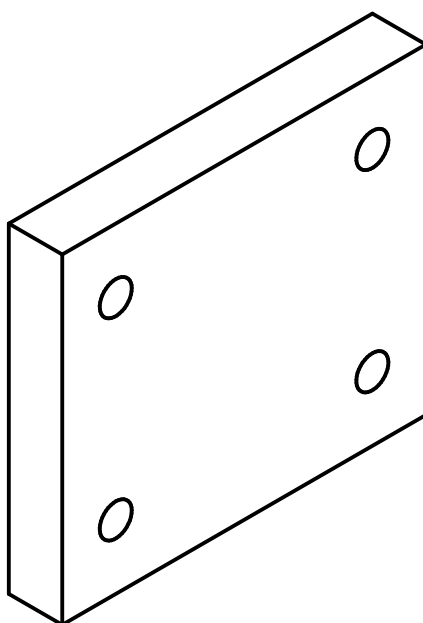
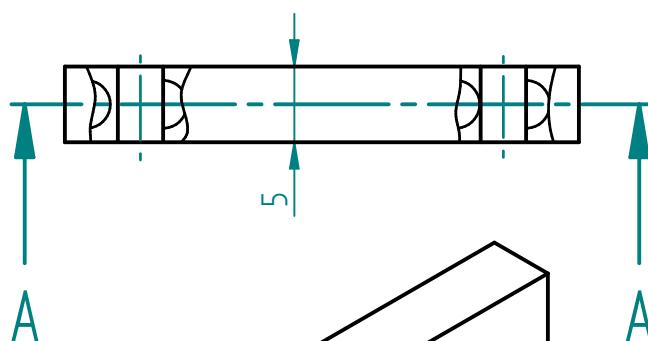




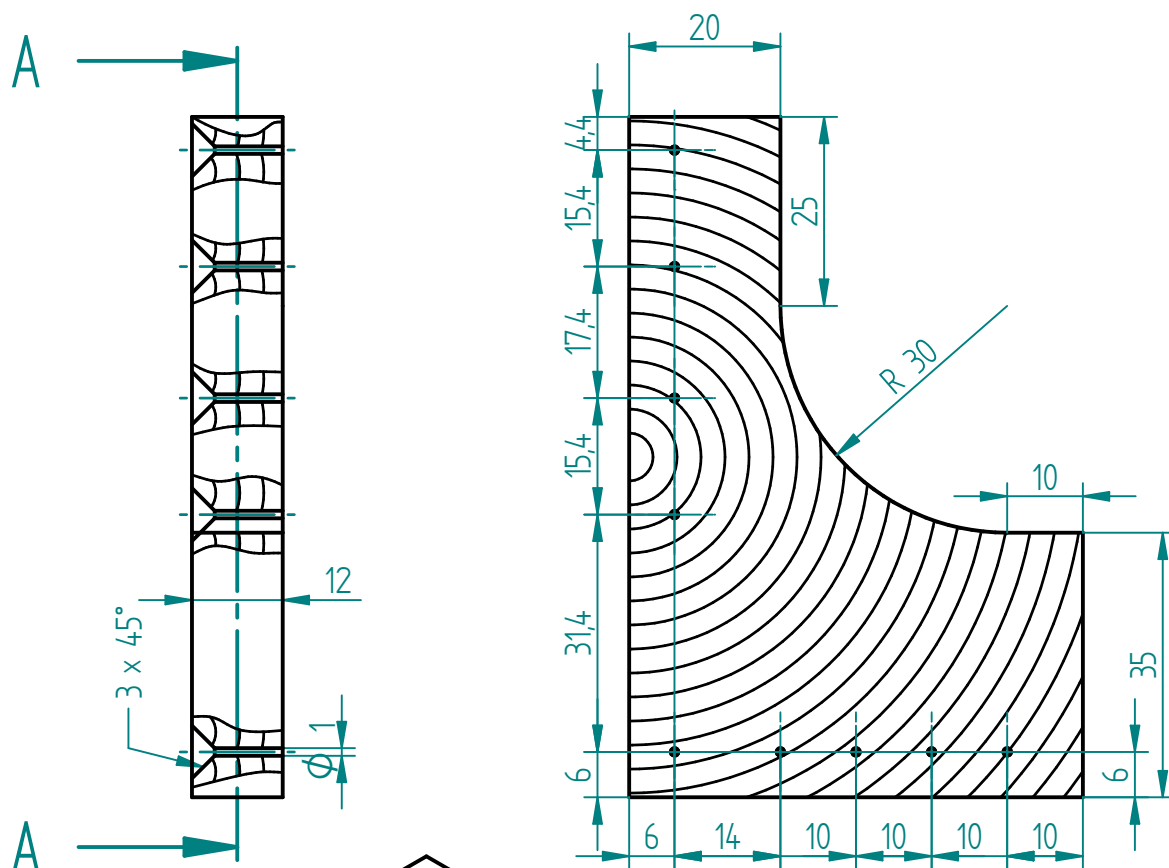
	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,013 kg	Mõõt: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: <b>Freeseihoidiku juhtpuks</b>		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 05 07 D	



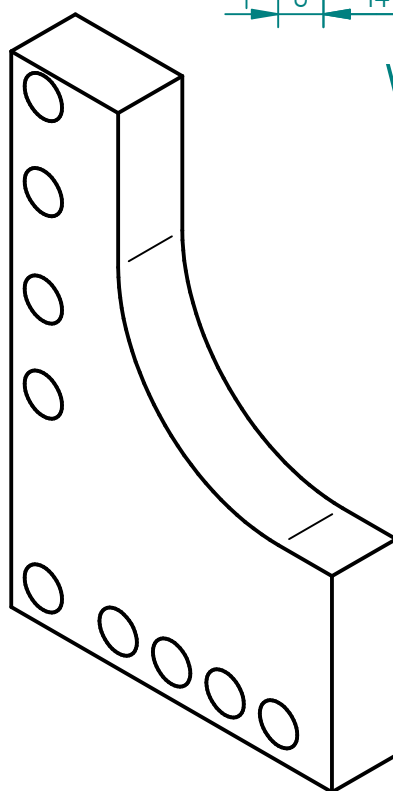
VAADE A-A



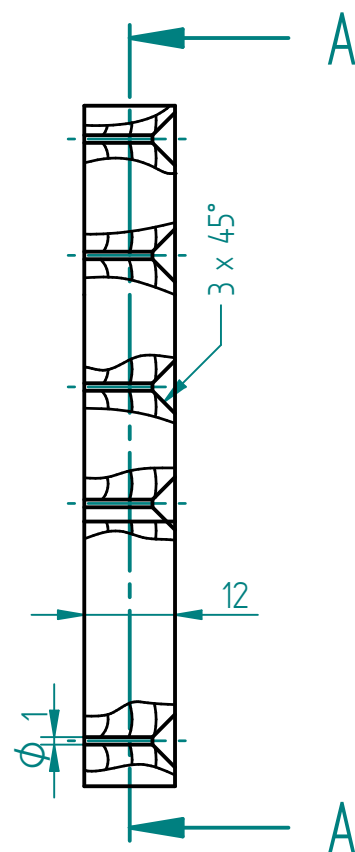
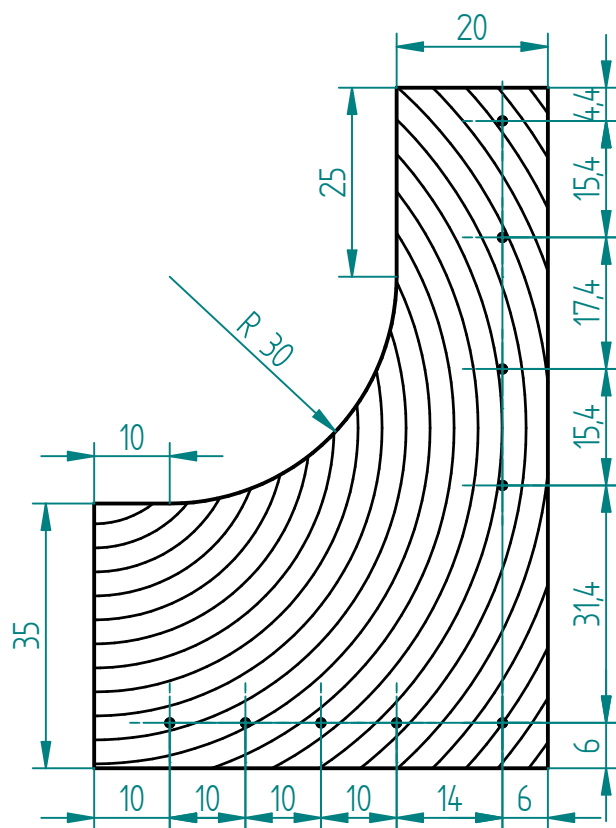
	Materjal: Lehtpuu	Näitamata piirhälbed: ISO 2768	Mass: 0,002 kg	Mööd: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: Freesihooidiku kõrgenduspuks		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN	Leht: 1	Tähtis: TN 17/100367 [ 05 08 ]		



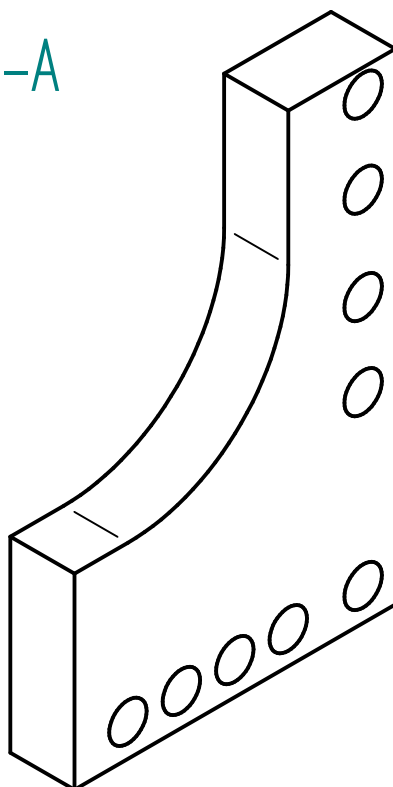
VAADE A-A



	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,03 kg	Mööd: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  Freesihoidiku külg 1		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 05 09 D	



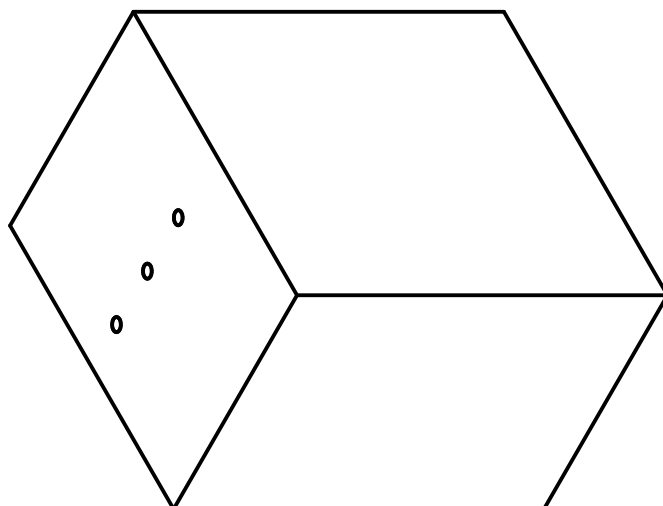
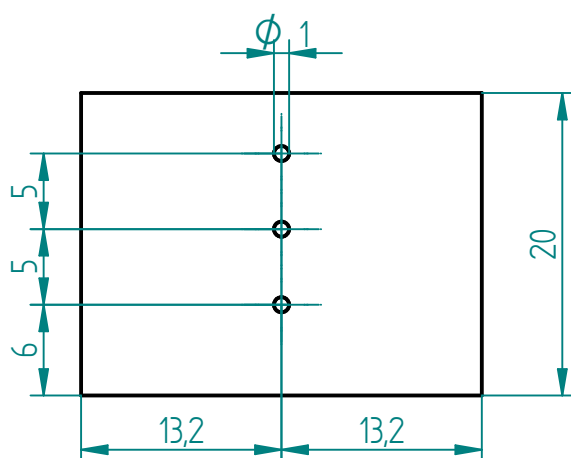
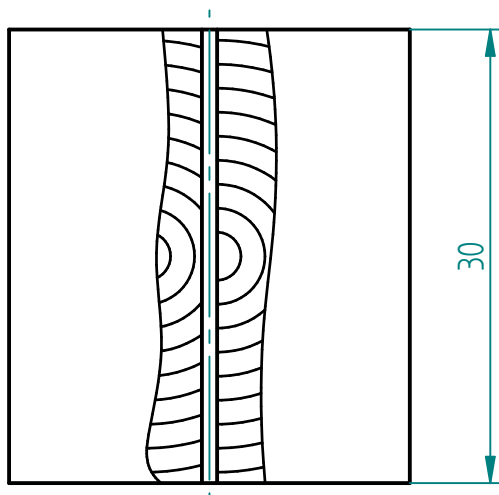
VADE A-A



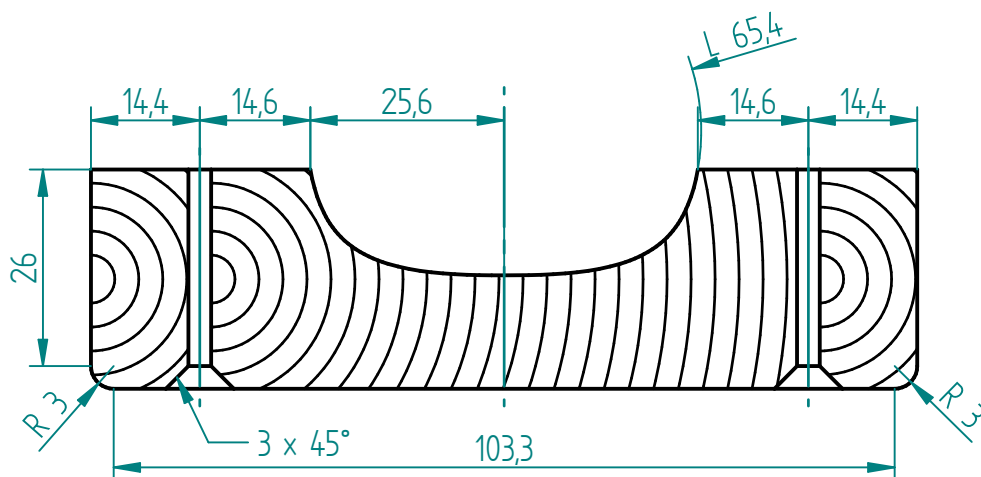
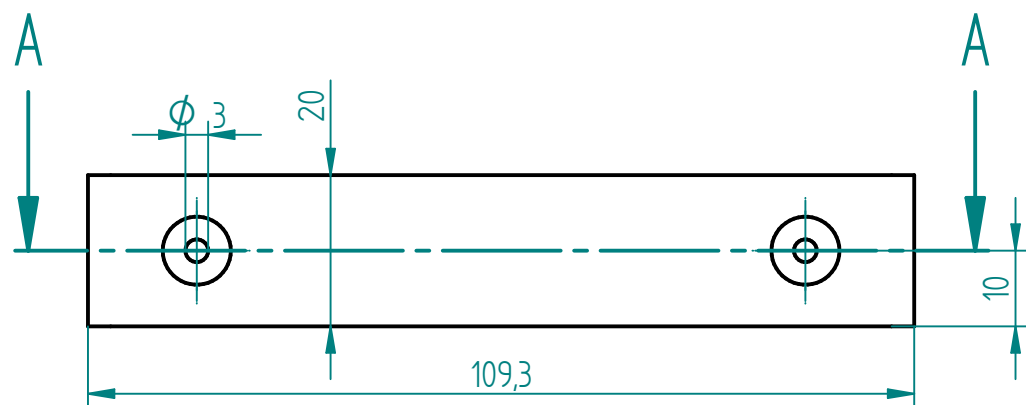
	Materjal: <i>Niiskuskindel filmivineer FW</i>	Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768</i>	Mass: <i>0,03 kg</i>	Mööd: <i>1:1</i>
Teostas	<i>Eero Tiisler</i>	<i>Freesiholdiku külg 2</i>		
Kontrollis	<i>Janar Kalder</i>			
Kinnitas	<i>Janar Kalder</i>			
<i>EMÜ TS-TN</i>		Leht: <i>1</i>	Tähis: <i>TN 17/100367 C 05 10 D</i>	



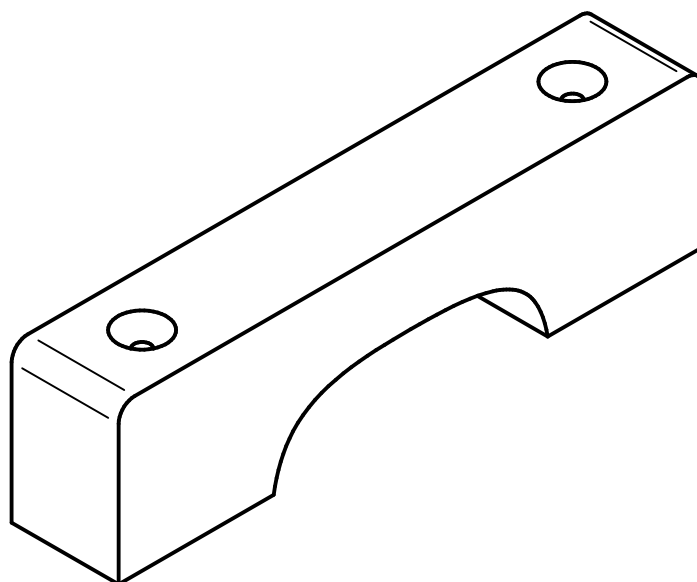




	Materjal: <i>Lehtpuu</i>	Näitamata piirhálbed: <i>ISO 2768</i>	Mass: 0,007 kg	Mööd: 2:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus: <i>Freesi külgmine kinnitus</i>		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 05 13 D	



VAADE A-A



	Materjal: Niiskuskindel filmivineer FW	Näitamata piirhálbed: ISO 2768	Mass: 0,038 kg	Mõõt: 1:1
Teostas	Eero Tiisler	Nimetus:  <i>Freesi pealmine kinnitus</i>		
Kontrollis	Janar Kalder			
Kinnitas	Janar Kalder			
EMÜ TS-TN		Leht: 1	Tähis: TN 17/100367 C 05 14 D	



**Lisa D. Lihtlitsents**

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Eero Tiisler,  
sünniaeg 04.08.1991,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö „3-teljeline CNC puidufreespink“, mille juhendaja on Janar Kalder, MSc,
  - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_